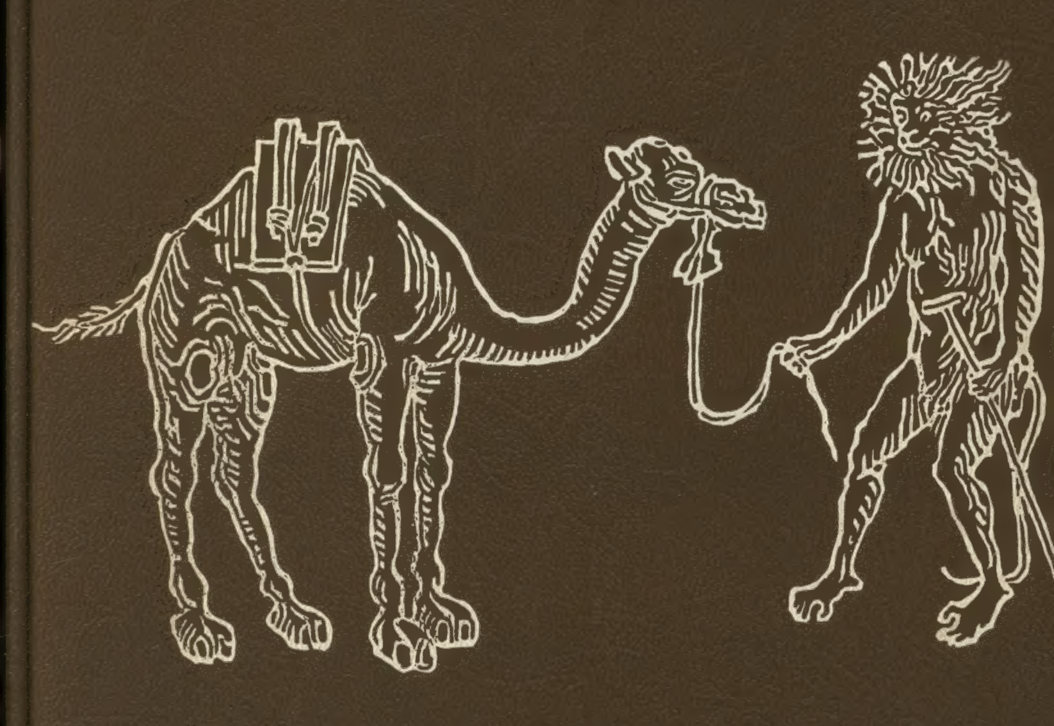
М. ИЧАС

О ПРИРОДЕ ЖИВОГО: МЕХАНИЗМЫ И СМЫСЛ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

О ПРИРОДЕ ЖИВОГО: МЕХАНИЗМЫ И СМЫСЛ

Martynas Yčas

MEANING AND MECHANISMS

М. ИЧАС

О ПРИРОДЕ ЖИВОГО:

МЕХАНИЗМЫ И СМЫСЛ

Перевод с английского
д-ра биол. наук А. С. Антонова
и канд. биол. наук Е. З. Годиной



МОСКВА «МИР» 1994

ББК 28.0
И34
УДК 574.577

Ичас М.

И34 О природе живого: механизмы и смысл: Пер. с англ. — М., Мир, 1994. — 496 с., ил.

ISBN 5-03-002805-6

Книга известного американского биолога и популяризатора науки содержит описание ряда ключевых биологических фактов и теоретических положений, обсуждаемых не только в научном, но и общекультурном аспекте. Рассматриваются все уровни развития живого, в том числе механизмы и биологический смысл усложнений нервной деятельности и поведения, становление высших психических функций: сознания, речи, чувства прекрасного и т. д. Автор ставит своей целью ввести естественно-научные идеи и подходы в интеллектуальный обиход читателей, не знакомых с биологией. Книга написана ярко и увлекательно. Она выделяется из ряда других книг по общей биологии новизной подходов и ряда высказанных автором идей.

Для школьников старших классов, студентов и всех читателей.

ББК 28.0

Издание выпущено в счет дотации, выделенной Комитетом РФ по печати

Редакция литературы по биологии

ISBN 5-03-002805-6(русск.)

Предисловие

Жалобы на отсутствие взаимопонимания между учеными-естественниками и гуманитариями стали уже привычными. Обычно такую дихотомию — существование "двух культур" — пытаются объяснить небольшими дефектами системы образования, которые, как некоторым кажется, легко исправить: достаточно лишь дать студентам-гуманитариям какие-то поверхностные сведения о достижениях естественных наук.

К сожалению, как показывает опыт, корни этой дихотомии лежат гораздо глубже. Вот что сказал о ее природе известный физик Вернер Гейзенберг:

"...Первым физическим феноменом, привлекшим внимание греческих философов, была "материя" — вечно существующая первооснова всех явлений природы. Согласно Фалесу, такой основой служит вода, и в этом можно увидеть попытку сформулировать понятие "материи". Эти представления нашли логическое завершение в атомистической теории Левкиппа и Демокрита. Качественное несходство предметов материального мира эти философы объясняли различиями в форме, движении и расположении атомов, находящихся в пустом пространстве. Не следует, впрочем, забывать, что эти успехи потребовали важных жертв в будущем: я имею в виду утрату "непосредственного" понимания качеств. В нашем опыте такие качества, как цвет, запах и вкус, предстают столь же непосредственными, прямыми реальностями, как форма и движение. Вместо того, что мы ранее называли "непосредственным пониманием", в атомистической теории появляется своего рода "аналитическое" понимание... Качественное разнообразие мира "объясняется" путем его сведения к различным геометрическим конфигурациям... Воплощенное в атомистической теории стремление описать воспринимаемые качества вещей (цвет, твердость и т. п.), сведя их к геометрическим конфигурациям (в самом широком смысле), затрудняет оценку истинной природы этих качеств методами науки. Легко понять, почему, например, поэты всегда считали атомистическую теорию ужасной". (В. Гейзенберг, Философские проблемы квантовой физики.)

Попытки улучшить ситуацию путем чтения студентам-гуманитариям “облегченного” курса естественных наук обречены поэтому на неудачу: они могут лишь укрепить представление о том, что наука мало что может сказать о “непосредственно данных реальностях”.

Если взглянуть на это с другой стороны, то представление о “двух культурах” берет свое начало из античных, благополучно доживших до сегодняшнего дня представлений. Согласно этим представлениям, существует не один мир, а два. В науке и практической деятельности это приводит к противопоставлению “духа” и “материи” или же наблюдателя и остального мира. В религии это проявляется в четком различении тела и души, мира и Бога.

Главная мысль этой книги, предназначенной для начинающих исследователей, такова: различия между “точными” и “гуманитарными” науками — это иллюзия, так как по сути своей мир един. Для того чтобы понять многие аспекты гуманитарных наук, нужны какие-то естественнонаучные познания, и наоборот.

Чтобы проиллюстрировать это, я буду использовать в основном примеры из биологии. Образ мира складывается в нас через наши тела — точнее, при участии нашей нервной системы. Важно, что именно мы, наблюдатели, создаем образ вселенной, и, с другой стороны, вселенная определяет природу наблюдающих, то, как они ее будут видеть.

Поскольку цель этой книги — выявить связь между биологическими явлениями и тем, что традиционно относят к области гуманитарных наук, мы не будем говорить о многих проблемах биологии, неважных с этой точки зрения. Однако нам все же придется близко ознакомиться с кое-какими фактами. После обсуждения некоторых различий в поведении живой и неживой материи я буду рассматривать организм как химическую машину, в основном в понятиях “молекулярной биологии”, а затем и классической генетики. Мы займемся генетикой популяций, ролью генома в определении продолжительности жизни, а также биологическими основами альтруизма. В следующем разделе речь пойдет о нервной системе и поведении, включая субъективные аспекты и проблему духа и тела. Затем мы перейдем к рассмотрению биологических основ культуры и языка и их значения для человека, а затем — к ранней истории человечества. Чтобы показать единство и непрерывность жизни, мы будем использовать подход, в основе которого лежит учение об эволюции.

Ради простоты я старался приводить как можно меньше маловажного фактического материала, но зато абстрактным представлениям уделил несколько больше внимания, чем это делается в учебниках по биологии для начинающих.

Глава 1

Душа живого

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Удивительная сложность строения и видимая целесообразность поведения живых организмов приводили многих к мысли о том, что жизнь — это нечто большее, чем просто физическое и химическое явление. Согласно ранним представлениям, жизненное начало в материальную систему привносит энтелехия или "душа", т. е. некая субстанция, отличная от тела, которая и обеспечивает целенаправленное, осмысленное поведение "грубой" материи. Однако ни в одной из живых систем никаких отклонений от законов физики отмечено не было, что говорит против таких представлений. И тем не менее живые организмы действительно могут вести себя целесообразно и осмысленно. Как же физическая система способна это осуществлять?

Живые существа, если сравнить их с объектами неживой природы, обладают на первый взгляд рядом необычных свойств: их поведение нередко кажется целенаправленным, они прекрасно приспособлены для достижения определенных целей и чрезвычайно сложно устроены. Многие приходили к выводу, что хотя живые существа и материальны, их нельзя "свести к физике": видимо, материю "одушевляет" некий внетелесный фактор. Такая точка зрения существует с античных времен; ее высказывали люди разных религиозных и философских убеждений. Независимо от того, справедливо или ложно такое представление, его стоит обсудить несколько подробнее, чем это обычно делают ученые.

Чтобы яснее понять концепцию внешнего животворного начала, полезно будет обратиться к ее истории. Во многих обществах с племенной структурой люди объясняют физиологические функции, приписывая их осуществление некоему постороннему существу, которое живет в человеческом теле. Мы обладаем слухом потому, что в наших ушах есть крошечный "гомункулус", способный слышать приходящие извне звуки, и видим потому, что еще один такой же сидит в наших глазах. Мы глохнем или слепнем,

когда этот гомункулус покидает нас или же сам становится глухим или слепым. Все это относится и к другим телесным функциям. Такие гомункулусы подобны множественным душам, причем каждый человек изначально наделен целым их набором, но со временем число их постепенно уменьшается.

Древние египтяне и греки тоже полагали, что одушевляющих начал несколько; некоторые из них способны существовать и после смерти тела, а другие умирают вместе с ним. Для египтян главной среди душ была "ба". Эта "ба" не была альтернативной формой существования личности, она лишь оживляла тело. Эти представления иллюстрирует рис. 1-1: видно, как покойный и его "ба" совместно радуются райской жизни.

Отметим, что первоначально в понятие души чего-либо "духовного" не вкладывалось. Для египтян и древних греков (до времени Платона) ничто не могло быть "реальным", если оно не было материальной субстанцией, так что любое животворное начало считали столь же материальным, как и тело, которое оно оживляло. Привидение, например, тоже считали вполне материальным телом, хотя и с некоторыми особенностями. Древние к тому же не знали современной физики, и перед ними не вставал вопрос, можно ли объяснить жизнь простыми физическими законами.

Представление о множественности душ не позволяло, однако, дать удовлетворительное объяснение физиологических или умственных способностей: если предположить, что их осуществляют гомункулусы, то проблема просто переносится с человеческого тела на другие объекты. И тем не менее еще не так давно принято было считать, что "одушевляющие" начала придают организму такие качества, как память, мышление и целенаправленные действия, к проявлению которых "грубая материя" и "слепые физические силы" неспособны. Многие думали, что даже чисто физиологические функции (размножение, пищеварение, кровообращение) тоже нельзя объяснить в терминах физики. Такую систему взглядов мы называем *виталистической*; лишь в последние сто-двести лет она утратила ведущую роль в биологии.

Физика, химия и жизнь

Согласно учению виталистов, некоторые стороны того явления, которое мы называем жизнью, нельзя понять на основе законов химии и физики или, точнее, физики, поскольку химия — лишь один из ее разделов. С другой стороны, безоговорочно принять тезис, что жизнь целиком основана на физических и химических



Рис. 1-1. Богиня Нут, оделяющая водой и хлебом умершего и крылатую Ба — одну из его душ.

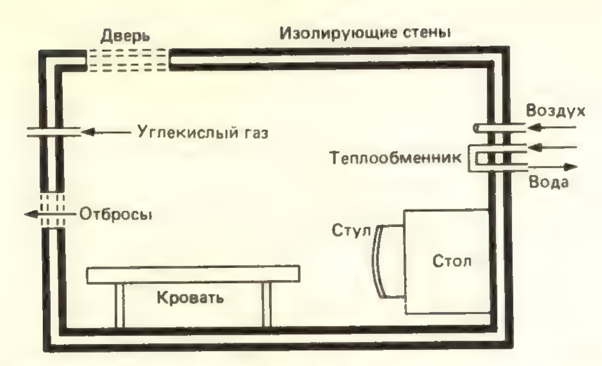


Рис. 1-2. Схема устройства калориметра. Это изолированная камера, в которую помещают человека или животное. Если вести учет подаваемой пищи, поступающего внутрь воздуха и выводимых отходов и тепла, то можно изучать общую интенсивность обмена веществ в организме.

процессах, тоже не так просто, как это может показаться на первый взгляд. Сложность заключается в том, что хотя на прямые вопросы достаточно легко ответить "да" или "нет", любой из этих ответов не слишком информативен и требует дополнительных пояснений, касающихся как его смысла, так и границ применения.

Калориметр. Согласно представлениям об одушевляющем начале, если таковое вообще существует, оно должно вызывать в живом теле какие-то изменения, и логично спросить, проявляются ли эти изменения в нарушениях законов физики и химии, установленных для неживых систем. Так, например, со времен Лавуазье (1743–1794), который выяснил природу дыхания (и был основателем современной химии), известно, что введенный в организм сахар взаимодействует там с кислородом и образует в конечном счете углекислый газ и воду. То же самое происходит при сжигании сахара, причем одновременно высвобождается энергия. Эта энергия, первоначально содержавшаяся в молекулах сахара и кислорода, способна производить работу или выделяться в форме тепла:

$$\text{Сахар} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{Энергия}.$$

Сегодня количество энергии, выделяемой сгорающим в неживой системе сахаром, точно определено. Известны и энергетические характеристики других химических реакций. Будут ли сохраняться те же самые количественные отношения, если реакции происходят в живой системе?

Пытаясь ответить на этот вопрос, но главным образом для того, чтобы изучить обмен веществ в организме, ученые создали прибор, называемый *калориметром* (рис. 1-2). По сути своей он напомина-

ет хорошо известный термос: камера калориметра имеет двойные стенки, которые предотвращают как отдачу тепла, так и его приток извне. Здесь, однако, используется не принцип изоляции, а другой, весьма хитроумный принцип. Наружная стенка обогревается электричеством и с помощью чувствительного датчика ее температура все время поддерживается такой же, как и внутри калориметра. Поскольку градиента температуры нет, передачи тепла через стенки не происходит. В камере калориметра находится радиатор с циркулирующей в нем водой. Измеряя количество протекающей воды и ее температуру на входе и выходе, легко подсчитать количество тепла, выделившегося в камере и вынесенного из нее наружу. Если в опыте изучается человек, то в камеру помещают все, что ему нужно: кровать, стол, телефон и прочее. Количество пищи, подаваемой в камеру, строго учитывается, так же как и выделение продуктов жизнедеятельности, например CO_2 и других. Таким способом можно измерить точный баланс между потреблением пищи и образованием конечных продуктов и тепла за длительный период времени.

Результаты таких экспериментов показывают, что законы сохранения вещества и энергии в живых системах выполняются в пределах точности опыта, а она составляет около 0,1%. При окислении сахаров, жиров или белков в организме высвобождается то же количество энергии, что и при сжигании их в лабораторных условиях, и в этом смысле организм человека или животного ведет себя подобно неживой химической системе. Ясно, что если и существует некая “жизненная сила”, присущая только живой материи, то она по природе своей не способна нарушать основополагающие физические и химические законы — законы сохранения вещества и энергии.

Можно продолжить примеры, но если говорить в целом, то как подобные опыты, так и многие другие, да и общие тенденции в развитии биологических и физических наук однозначно говорят о том, что ни один закон физики (и химии) в биологических системах не нарушается. На этом основании многие поспешили заключить: “да, живые системы подчиняются исключительно законам физики и химии”.

Тем не менее живые системы обладают рядом свойств, не присущих физическим системам. По сути дела формула “жизнь подчиняется только законам физики” утверждает лишь тот факт, что в биологических системах они не нарушаются, и в принципе это так. Однако слабая сторона такой формулировки состоит в том, что она оставляет в стороне главное и самое интересное в этой проблеме.

Так, например, одна неоновая реклама может гласить “Господь да поможет нам”, а другая — “пролетарии всех стран, соединяйтесь”. Изучая их устройство, мы обнаружим, что обе они построены из медных проводов, стекла и т. п. и в их действии нет ничего нарушающего законы физики. Мы вправе заключить, что неоновые рекламы — это физико-химические системы, но при этом мы упустим главное, если скажем, что к этому и сводится их суть. Между тем самое важное в них не физика, а *смысл* лозунгов, который нельзя выяснить, изучая физический механизм неоновых трубок.

Пойдем дальше и поговорим о смысле как о некой “душе”, которая существует независимо от физической природы неоновой рекламы. Этот смысл не изменится, если для выражения его мы используем чернильные значки на бумаге, звуковые волны и т. п. Наконец, один и тот же смысл может быть выражен на латинском, китайском или французском языке. Воздержимся, впрочем, от искушения зайти слишком далеко и отметим, что такая независимость не абсолютна: если смысл не воплощен в некой физической системе, включающей (хотя бы потенциально) определенную конфигурацию нервных связей в мозгу, то он исчезает. Смысл и в самом деле независим от конкретной физической системы, но он не может существовать в форме полностью бестелесного “духа”.

Обе эти стороны живого вполне реальны: живое — это физическая система, но вместе с тем оно обладает также свойствами осмысленности и целенаправленности. Проблема поэтому заключается в том, чтобы выяснить, может ли физическая система обладать этими свойствами, и если может, то каким образом это достигается.

Глава 2

Лягушка и зенитное орудие, или цель и средство

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Иногда нам кажется, что живые организмы ведут себя целенаправленно. Чтобы не обсуждать раньше времени вопрос, что такое "целенаправленное поведение", мы будем пользоваться более нейтральным термином — "поведение, связанное с преследованием цели" (мишени), так как у него нет субъективного психологического подтекста.

Не так давно был создан ряд неживых устройств, "преследующих цель", например управляемое радаром зенитное орудие, конструкция которого нам полностью понятна. Из этого видно, что "преследовать цель" могут и неживые системы, построенные только из "грубой материи". Но хотя неживые объекты и могут иметь такую способность, ею обладает не всякий материальный объект — для этого он должен быть особым образом устроен. Насколько нам известно, такая особая конструкция присуща либо живым существам, либо созданным ими механизмам.

Этот анализ "преследования цели" нужен нам для того, чтобы более объективно понять смысл биологического прогресса. Сравнивая организмы или механические устройства, мы можем делать заключение, какой из них более совершенен, исходя из того, сколько различных целей он может преследовать, насколько успешно и в каком диапазоне внешних условий. При этом прямая связь со способностью к выживанию по сути дела отсутствует, и человек останется высшим существом по отношению к червям или бактериям, даже если он исчезнет с лица Земли раньше, чем они.

Цель в природе

Видимая целесообразность — способность достигать неких конечных целей — в живой природе встречается довольно часто, и не только у высших форм. Напротив, ее отсутствие составляет скорее исключение. Рассмотрим ряд примеров.

1. Бактерия попадает в среду, содержащую ядовитый для нее пенициллин. В ответ она начинает выделять особое вещество — фермент пенициллиназу, которая его разрушает. Когда весь пенициллин разрушен, синтез фермента прекращается.

2. У проростка гороха корни растут вниз, а побег — вверх. Если проросток перевернуть, направление роста корня и стебля по отношению к семени изменится на обратное, но по отношению к земле корень опять-таки будет расти вниз, а стебель — вверх.

3. Человек начинает бег. Пульс у него немедленно ускоряется, и в результате снабжение мышц кислородом увеличивается и они получают больше энергии для своей работы.

4. Лососи плывут вверх по реке, а если встретят порог, то перепрыгивают через него. В конечном счете они приплывают в верховье реки, мечут икру и погибают. Из икры выводятся новые лососи.

5. Голубя отвозят на много миль от дома и выпускают. Каждый раз он возвращается в свою голубятню.

6. Некоторые виды муравьев в тропической Америке выкапывают большие подземные камеры, куда они приносят листья, сорванные с ближайших деревьев. Они заражают эти листья спорами гриба, гриб разрастается, и муравьи его едят.

7. Человек играет в шахматы. На доске сложилась такая позиция, что его противник может сделать мат через три хода. Человек, однако, двигает пешку и снимает эту угрозу.

Все перечисленные виды деятельности, так же как и многие другие, создают впечатление, что все эти организмы пытаются достичь определенной цели. Однако возникает вопрос: а можно ли говорить о "цели", когда живой организм не обладает сознанием и субъективными намерениями? Поэтому лучше заменить слово "цель" (purpose) более нейтральным и широким термином "преследование цели" (goal-seeking): он подойдет и в тех случаях, когда результат достигается сознательно (например, если шахматист избегает мата), и в тех, когда мы знаем или предполагаем, что цель не осознаётся.

Преследование цели

Большинство приведенных выше примеров показывает, что конечный результат, к которому стремится живое существо — это самосохранение, причем речь идет о сохранении не столько индивидуума, сколько биологического вида. Плывущий вверх по течению лосось не думает о самосохранении, скорее наоборот. Достигнув

цели, он умрет, так как после нереста лососи погибают, однако такое поведение обеспечивает дальнейшее существование данной расы лососей. Такая ситуация весьма обычна; например, многие растения приносят семена и вслед за этим отмирают.

Гомеостаз

Одна из разновидностей целенаправленных реакций, имеющая особое значение в биологии, — это *гомеостаз*, т. е. поддержание постоянства внутренней среды организма.

Большинство клеток многоклеточного существа защищено от прямого влияния внешней среды. Часть из них омывается кровью или иной жидкостью тела, часть окружена другими клетками и т. п. Все они находятся во "внутренней среде" организма, тонко реагирующей на различные изменения, и многие функции объективно имеют своей целью поддержание этой внутренней среды в оптимальном, обычно неизменном состоянии. Примером может служить поддержание постоянной температуры тела.

Скорость различных физиологических процессов и биохимических реакций зависит от температуры: обычно она удваивается при каждом повышении температуры на 10°C. При температуре замерзания воды (или вблизи этой точки) процессы жизнедеятельности замирают, а с повышением температуры они идут быстрее. Когда достигается некая критическая точка, скорость снова падает, так как начинается распад некоторых веществ, а при дальнейшем повышении температуры организм погибает (рис. 2-1).

Большинство растений и животных относятся к числу пойкилотермных ("холоднокровных"), и температура их тела близка к наружной. По мере снижения температуры активность их падает. Птицы и млекопитающие способны поддерживать температуру тела на постоянном уровне (35–38°C) независимо от температуры окружающей среды. Таких животных называют гомойотермными или "теплокровными". Терморегуляция осуществляется за счет реакций, основанных на принципе обратной связи. Если температура тела снижается, то выработка тепла возрастает, например за счет дрожи. Уменьшаются теплопотери, например путем уменьшения циркуляции крови в сосудах, лежащих непосредственно под кожей. Если температура тела повышается, то возрастает отдача тепла, например в результате испарения пота. Одновременно изменяется и поведение: даже такие животные, как змеи, не способные поддерживать постоянную температуру тела, стремятся приблизить ее к 37°C, отыскивая теплые или, наоборот, прохладные

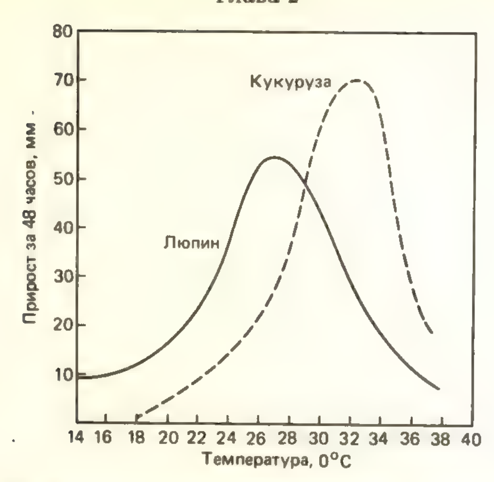


Рис. 2-1. Влияние температуры на скорость роста двух растений — люпина и кукурузы. Сходно с этим и действие температуры на другие функции. Вначале с повышением температуры интенсивность их увеличивается до некоторого максимума, а затем падает по мере приближения к опасному пределу.

места. Пчелы тоже эффективно осуществляют терморегуляцию и поддерживают температуру тела и всего улья на уровне около 35°С за счет работы мышц, вентиляции улья или испарения приносимой в улей воды.

Другой пример гомеостаза — поддержание постоянства солевого состава крови у животных на оптимальном уровне. Оно осуществляется при участии почек или других подобных органов, выделяющих наружу воду и соли так, чтобы поддерживать более или менее постоянную концентрацию солей в крови. Есть и много иных параметров, таких как содержание сахара в крови или количество воды в организме, которые поддерживаются на каком-то постоянном или примерно постоянном уровне различными механизмами, действующими по принципу обратной связи.

Явления гомеостаза давно привлекают внимание ученых; на их значение впервые указал французский физиолог Клод Бернар, который писал: "...постоянство внутренней среды является непременным условием свободной жизни".

Так, например, полярная сова способна летать и охотиться при низкой температуре только потому, что в ее организме всегда достаточно тепла. Напротив, змеи и лягушки, для того чтобы пережить зиму, должны впадать в спячку. В отличие от совы они

полностью зависят от температуры окружающей среды. Эволюция механизмов гомеостаза составляет существенную часть процесса эволюции в целом; в результате организмы становятся все более независимыми от внешних условий.

В более широком понимании термин "гомеостаз" по сути дела почти равнозначен понятию "жизнь", ибо в основе жизни лежит механизм преследования цели, а цель эта состоит в поддержании самого этого механизма в рабочем состоянии, хотя внешние и внутренние силы все время стремятся нарушить его работу. Доказать справедливость этого положения несложно: если механизм перестает выполнять эти функции, то жизнь прекращается. Разнообразные механизмы гомеостаза — это лишь различные способы достижения одной общей цели, но они могут быть неодинаковыми у разных живых существ.

"Непрактичные" цели

Чаще всего встречаются цели, к которым организмы стремятся для сохранения индивидуума или вида: ведь если такая цель не достигается, то исчезает и сам объект исследования — организм. Но далеко не все цели имеют такую же направленность. Например, столь обычный грех, как обжорство, может довести организм до гибели. Такие "извращенные" цели обычно представляют собой доведенную до абсурда норму поведения, обычно направленную на самосохранение;однако есть цели, которые, как кажется, не могут быть отнесены даже к категории таких "извращений". Так, с функцией самосохранения трудно связать игру в шахматы.

Подобные цели легче всего понять, привлекая субъективные представления, желание получить некую новую форму удовлетворения или удовольствия. Такого рода "непрактичное" поведение свойственно не только человеку. Некоторые врановые птицы собирают гальку или осколки стекла, видимо, просто потому, что они им нравятся, и порой у женщины, разделяющей с сороками страсть к ярким и блестящим предметам, могут пропасть дорогие часы или бриллиант. Здесь мы сталкиваемся с появлением в ходе эволюции новых целей, не связанных очевидным образом с самосохранением и сохранением вида.

Возражения против концепции "поиска цели"

Понятие о гомеостазе как одной из разновидностей целенаправленных реакций организма, давно уже получило всеобщее признание;

этого, однако, нельзя сказать о концепциях "цели" и ее "поиске", к которым биологи классической школы до недавнего времени относились с большим сомнением. По этому поводу высказывалось два главных возражения.

Суть первого из них заключается в следующем. Если какое-то действие описывается как имеющее цель, то из этого следует, что настоящее состояние определяется будущим, т. е. следствие предшествует причине, что представляется невозможным. Таким образом, это возражение направлено против извращенной причинности.

Второе возражение сводится к тому, что "поиск" или "преследование" цели, по существу, означает то же, что и целенаправленное поведение, а цель (purpose) — это субъективная категория, которую наука рассматривать не должна. Всякие разъяснения в понятиях "целей" вместо "наблюдаемых эффектов" объявляются *телеологическими* (от греческого telos — конец, цель). Такой подход совершенно не признается физикой, первоосновой всех естественных наук, и такое же отношение демонстрируют другие науки. Таким образом, это общее возражение против использования принципа телеологии.

Первое из этих возражений довольно просто опровергнуть. Из целенаправленности действий вовсе не следует, что последующие события могут быть причиной предшествующих. Это лишь кажущаяся взаимосвязь. Приведу такой пример: внешний наблюдатель может заметить, что за несколько недель или месяцев до затмения Солнца астрономы со всего света начинают готовить приборы для его наблюдения, особенно в тех местах, где оно будет полным. Он мог бы подумать, что будущее событие (затмение, которое пока не произошло) оказывает воздействие на поведение астрономов. На самом деле причина озабоченности астрономов не само будущее затмение, а скорее предвидение того, что оно произойдет. Иными словами, будущие события могут влиять на настоящие лишь через предсказания. Значит, не только истинные, но и ложные предсказания могут оказывать такое действие. Поэтому не только реальные, но и ошибочно ожидаемые события будущего могут влиять на настоящее. Если считать предсказания вроде "курс акций будет повышаться" или "война неизбежна" полностью достоверными, то это может привести к гибельным последствиям.

Второе возражение, касающееся телеологии, более серьезно. Еще Аристотель говорил о нескольких типах причин. Если построен дом, то это произошло потому, что кому-то нужно было жилище. Это он называл "конечной причиной", т. е. давал телеологическое объяснение. Но тот же дом строился потому, что

кто-то укладывал один кирпич на другой — это уже "действующая причина". Рассматривая приведенные выше примеры, большинство людей (и даже ученых) готово будет объяснить причину хода в шахматах "конечной причиной", т. е. нежеланием получить мат. В случае поведения муравьев, занимающихся "сельским хозяйством", возможно, будет больше сомнений. А в примере с бактерией, выделяющей пенициллиназу — продукт целой серии химических реакций, — большинство склонно будет искать действующую причину. То же можно сказать и о корне, растущем вниз.

Одно время философы, особенно средневековые схоласты, ограничивались поисками "конечных причин", выдуманных или истинных целей чего-либо, и игнорировали изучение действующих механизмов. Например, работу мышц "объясняли" необходимостью двигать тело. Следуя такой логике, луна светит, чтобы освещать нам ночную дорогу, а дождь идет, когда растениям не хватает воды (а сами растения существуют для того, чтобы мы их ели).

Ученые склонны теперь отвергать телеологические объяснения потому, что сам подход, при котором цель используется как объясняющий принцип, оказался в естественных науках бесплодным. Он не может помочь нам ни предсказать грозу, ни объяснить причину болезни мышц. Современная наука начала развиваться лишь после того, как такими "объяснениями" стали пренебрегать, а вместо этого начали изучать механизмы тех или иных явлений. Выяснилось, что дождь идет при определенных условиях атмосферной влажности, определенной температуре и т. д., а вовсе не потому, что растения нуждаются в воде. Точно так же мы стараемся понять истинные механизмы сокращения мышц, узнаём, почему светит луна или идет снег, как образуются звезды. Этот поиск действующих причин оказался столь успешным и продуктивным, что представления о конечных причинах (целях) совсем вышли из моды, а телеология стала ругательным словом. В конце концов люди готовы были усомниться в самой возможности поведения, направленного на поиск цели.

Но так обстоит дело не во всех областях. Никто, например, не сомневается, что предвыборную кампанию мистера Х. следует рассматривать в понятиях телеологии: он ведет ее, чтобы быть избранным. Но когда после удара по колену его нога рефлекторно подпрыгивает, то большинство справедливо дает этому механистическое объяснение. Как говорится, пока все хорошо. Но если мы попытаемся связать воедино дергающуюся ногу мистера Х. и движения его языка в ходе выступлений, то мы столкнемся с рядом глубоких философских проблем, которые не решены до сих пор.

Машины, преследующие цель

Итак, поведение, направленное на достижение цели, — это факт, и хорошо, что споры об этом почти прекратились. Такая перемена взглядов произошла не в результате теоретических рассуждений; просто практика с несомненностью показала, что можно создавать электрические и механические устройства, способные преследовать некую цель, иногда при решении очень сложных задач. А поскольку такие устройства создаем мы сами, принципы их действия полностью понятны для нас. Оказывается, такое поведение не обязательно связано с каким-либо субъективным или физиологическим элементом (хотя это не исключается); оно не означает также, что следствие может предшествовать причине. Поэтому мысль о поведении, направленном на достижение цели, стала вполне приемлемой даже для самых решительных критиков телеологии, после того как было показано, что его можно полностью объяснить на основе действующих причин.

Начало такой перемены во взглядах можно связать с публикацией в 1949 г. книги Норберта Винера (1894–1964), математика из Массачусетского технологического института, под названием “Кибернетика, или управление и связь в животном и машине”. Определенный тип целенаправленной деятельности, по Винеру, обеспечивается контролируемым использованием и переработкой *информации*, и в этом отношении между машиной и живым существом может быть очень много общего. Винер показал, что все эти процессы можно описать абстрактным математическим способом, и они оказались весьма сходны независимо от частных деталей устройств, в которых они происходят. С этой точки зрения не так важно, образованы ли эти устройства протоплазмой или медными проводниками: их поведение в основе своей будет одинаковым.

Существует множество технических систем, способных к целенаправленному поведению, и в качестве типичного примера чаще всего приводят зенитное орудие, управляемое радаром. Такие зенитки всесторонне изучались во время второй мировой войны, и результаты этих исследований сыграли важную роль в выработке теоретических положений, породивших новую науку — кибернетику. Здесь мы, конечно, не будем рассматривать все детали подобных устройств, для нас важна только логика их работы. Для упрощения представим себе, что цель движется прямолинейно с постоянной скоростью, как и снаряд, в нее выпущенный.

Рассматривая эту систему, мы сразу же замечаем большое сходство в поведении зенитного орудия и некой живой системы. Если цель появляется в радиусе действия орудия, то оно наводится на

нее и выпускает снаряд, который имеет большие шансы поразить мишень. Точно так же лягушка поворачивается в сторону летящей мухи, выбрасывает язык и ловит ее. Другие примеры: собака вскакивает и кидается за брошенной палкой, теннисист бьет по мячу. Все эти системы "приспособлены" к конкретной цели в том смысле, что они ее поражают независимо от ее положения и скорости, которые могут варьировать (разумеется, в разумных пределах).

Сходство между машиной и животным окажется еще больше, если мы рассмотрим механизмы, ведущие к попаданию (рис. 2-2). В этом процессе можно выделить четыре главных элемента:

1. Мишень. Она неподвижна или каким-то образом движется.

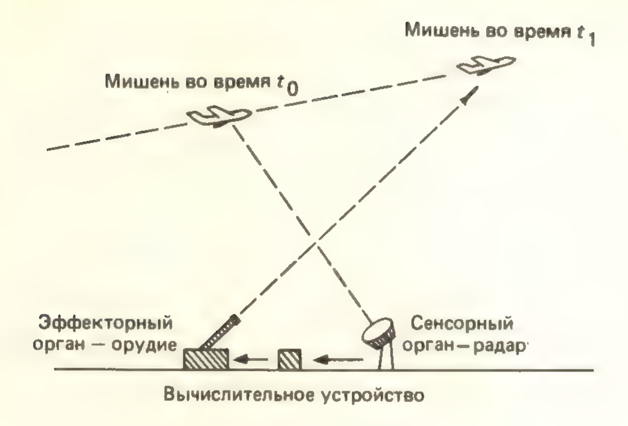
2. Воспринимающее устройство. В случае зенитного орудия это радар, у лягушки — глаза. Это устройство определяет положение мишени и компоненты ее движения в трехмерном пространстве в момент времени t_0. Можно сказать и иначе: мишень передает информацию о себе через воспринимающее устройство.

3. Система обработки информации, или вычислительное устройство. Оно предсказывает положение мишени в последующие моменты. У лягушки для этого служит мозг. Эти устройства вычисляют направление ствола орудия (или движение языка у лягушки), обеспечивающее поражение мишени. Расчеты при этом, конечно, основываются на информации, поступающей от сенсорного органа — радара или глаз.

4. Орган-эффектор, который непосредственно осуществляет действие. В первом случае это будет ствол орудия со снарядом. Если выстрелить в момент t_1, снаряд пересечет траекторию мишени в момент t_2. У лягушки эффектором служит язык, который выбрасывается изо рта и хватает муху.

Сердцем этой сложной системы служит вычислительное устройство, обрабатывающее информацию. В случае управления зенитным огнем мы во всех деталях знаем, как это устройство работает. Что касается механизмов обработки информации в мозгу лягушки, то здесь еще много неясного. Для наших целей не так важно знать механизмы работы мозга или вычислительного устройства зенитки. Условно эти системы можно назвать "черными ящиками"; так часто называют механизмы, преобразующие входные сигналы в выходные, когда нет надобности уточнять, как они это делают. В нашем случае входными сигналами служат данные о скорости и положении мишени, а выходными — о направлении ствола или движении языка, обеспечивающем попадание в цель.

По существу, здесь решается задача поиска цели. Не обязательно, чтобы при этом один физический объект осуществлял пре-



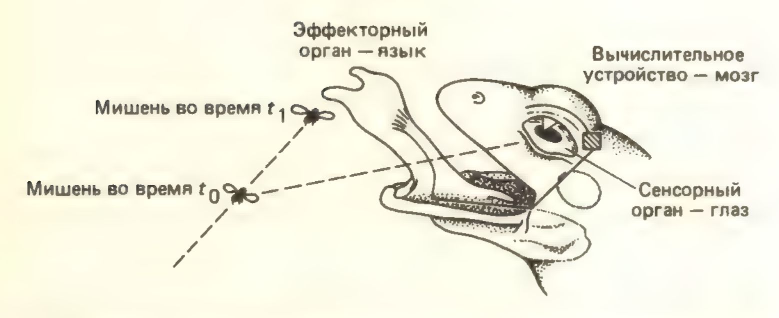


Рис. 2-2. Четыре элемента устройства для преследования мишени. Здесь показаны зенитное орудие, стреляющее в самолет, и лягушка, которая ловит насекомое. Мишень во время t_0 доставляет через сенсорную систему информацию о своем положении и о скорости движения. Эта информация поступает в устройство, которое вычисляет будущее положение мишени во время t_1 и направление ствола орудия или движения языка у лягушки, необходимое для поражения цели.

следование другого (как это бывает, когда снаряд нацеливается на самолет, а язык лягушки — на муху). Задачу можно рассматривать более абстрактно, как поиск некоего состояния, приводящего к какому-то другому состоянию. Например, работу системы кровообращения нужно приспособить к активности всего организма; чем больше потребность в кислороде, тем энергичнее должно ра-

ботать сердце. Эффективность системы кровообращения, определяемая количеством кислорода, которое она способна переносить в минуту, должна все время согласовываться с другой переменной величиной — количеством кислорода, потребного тканям. Когда лягушка пытается поймать муху, а теннисист — ударить по мячу, мы имеем дело с аналогичным согласованием одного процесса с другим.

Хотя поведение, направленное на достижение цели, встречается и у неодушевленных систем, его нельзя считать общим свойством материальных объектов: обычно оно обеспечивается специальными приспособлениями. Поэтому неудивительно, что с появлением жизни, которая сама зиждется на таких особых приспособлениях, появилось огромное разнообразие по сути своей новых явлений, в том числе и таких, как видимое целенаправленное поведение живых объектов. Конечно, всегда надо помнить, что особые приспособления, обеспечивающие такое поведение, в действиях своих должны подчиняться общим законам природы; этот принцип мы не можем нарушить ни при каких условиях.

Поиск цели, цель и намерение

Какое отношение имеют принципы, лежащие в основе поиска цели, к понятиям "субъективного намерения" или "сознательного целенаправленного поведения"? У этого вопроса есть множество оттенков, но на него можно сразу же дать по крайней мере один определенный ответ. Если в каком-то конкретном случае система, настроенная на достижение некоторой цели, действительно проявляет сознательное целенаправленное поведение или намерение, то в ней должны реализоваться те же механизмы и она должна быть подвержена тем же ограничениям, как и любая другая система, направленная на достижение цели. Чтобы понять этот тезис, сравните, например, человека, стреляющего из ружья в самолет, с автоматическим зенитным орудием. Человек в этом случае — сознательно и целенаправленно действующий агент, но если он хочет сделать выстрел, не просто случайно поражающий мишень, то он должен получить информацию о состоянии последней. Основываясь на этой информации, он рассчитывает наперед положение мишени и на основе этих расчетов дает необходимые команды своим мышцам, которые направляют ружье и производят выстрел. **Отсутствие такой информации или процессов ее переработки не может быть восполнено никаким осознанием цели**

производимых действий. Из этого ясно, что целенаправленное поведение одушевленных агентов основано на тех же механизмах, что и работа неодушевленных устройств для поиска цели.

Но не привносит ли "осознание цели" чего-нибудь еще? На этот вопрос некоторые ученые склонны отвечать "нет". Поскольку "в принципе" неживой механизм может делать все то, на что способна одушевленная система, например человек, при наших попытках понять и описать объективное поведение мы можем как будто бы вовсе обойтись без представления о цели. Однако, если говорить честно, следует все же сдержанно относиться к такого рода заявлениям. Отнюдь не очевидно, что нет существенной разницы между Пифагором, ищущим "что-то интересное" в свойствах прямоугольных треугольников, и зениткой, преследующей самолет. Как бы то ни было, мы еще далеки от возможности создать электронного Пифагора; и пока мы этого не сделали, мы не можем быть уверены, что неживое устройство действительно хотя бы "в принципе" способно воспроизвести все, что доступно человеку.

Представление о биологическом прогрессе

Биологи уже давно ведут весьма острую дискуссию о том, можно ли вообще использовать термин "прогресс" в биологии. Многие считают, что можно: они говорят, что человек — более "продвинутый" организм, прошедший больший эволюционный путь, чем, например, солитер или бактерия. Другие, напротив, заявляют, что это антропоцентрическая, субъективная точка зрения и что ей не место в науке. Единственный критерий лучшей приспособленности, утверждают они, — это успешное выживание вида. Если принять этот критерий, то бактерия и солитер ничуть не хуже приспособлены к условиям своего существования, чем человек, и даже лучше, поскольку численность их выше. Эволюция человека не может поэтому служить мерилом биологического прогресса; по крайней мере к ней не следует так относиться, если вы ученый.

Чтобы разобраться в этих доводах, нам нужно развернуть понятие "степени приспособленности (адаптации)". Развертывание термина, в отличие от его объяснения, — это технический прием, означающий раскрытие смысла понятия или термина; обычно при этом дается более определенное и узкое его толкование, если он слишком часто употребляется в недостаточно точном значении.

Может ли "степень адаптации" иметь какое-то объективное значение помимо того, что она способствует выживанию? Призо-

вем на помощь все тот же пример с зенитным орудием. Оказывается, одна зенитка может быть лучше “приспособлена” к поражению мишеней, чем другая, и здесь возможны два варианта:

а) зенитка может поражать цель на более далеком расстоянии, чем другое орудие, или же попадать в цель, движущуюся с большей скоростью (аналогичный пример из биологии — животное, способное поддерживать постоянную температуру тела в более широком диапазоне температур окружающей среды);

б) другой вариант — это зенитка, “умеющая” учитывать влияние большого числа переменных величин (например, не только положение и скорость мишени, но также влияние ветра и атмосферного давления на траекторию снаряда). Примером из биологии могут быть две жабы, одна из которых пытается поймать любой небольшой движущийся предмет, другая способна к тому же различать съедобные и несъедобные объекты.

Ясно, что если определенная таким образом “степень приспособленности” имеет не меньший объективный смысл, чем “выживание”, то она вовсе не обязательно сводится к простой выживаемости. Человек, например, способен адекватно реагировать на более широкий круг разнообразных изменений окружающей среды. Из этого можно сделать разумный вывод, что человек лучше приспособлен к среде или же обладает более высокой организацией, чем солитер, и он останется таковым, даже если как вид вымрет раньше червей. В целом понятно, что в ходе эволюции появились организмы со все большей приспособленностью к среде, и в этом смысле эволюция была, безусловно, прогрессивной. Это не значит, что адаптация возрастала у всех организмов, однако у самых приспособленных она увеличивалась более или менее равномерно. И совсем другой вопрос, хорошо это или плохо. У науки нет ответов на такие вопросы, как “кому лучше жить — человеку или червю?” или “что такое появление человека — добро или зло?”

Подводя итоги, можно сказать следующее. Виталисты подчеркивали видимую целенаправленность поведения живых существ и полагали, что ее нельзя понять на основе законов физики, так как она не свойственна “грубой материи”. Ученые “механической школы” возражали им, отрицая целенаправленность всюду, где это возможно. Они чувствовали себя обязанными поступать именно так, поскольку неявно соглашались с виталистами в том, что физические системы обладают ограниченными возможностями. Этот спор решили не биологи и не философы, а математики и инженеры, создавшие такие неживые системы, у которых можно было

объективно продемонстрировать способность к целенаправленным действиям. Таким образом, целенаправленное поведение оказалось вполне доступным “грубой материи”.

Литература

G. Sommerhoff. “Analytical biology”, Oxford Univ. Press, 1980.

Глава 3

Часы и устрица, или о происхождении адаптаций

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Построенные человеком машины доказывают, что и неживые системы способны к целенаправленному поведению. Однако для их создания необходим осознающий поставленную цель конструктор. А если это так, то не нужен ли был такой "конструктор" и для создания живых существ? Этот аргумент, основанный на аналогии, был, по-видимому, опровергнут, когда Уоллес и Дарвин в 1859 г. показали, что живые существа могут самоусовершенствоваться — эволюционировать в сторону все большей адаптации, т. е. приспособленности, к среде обитания.

Для того чтобы объяснить этот процесс, Уоллес и Дарвин предложили механизм естественного отбора. Живые существа способны изменяться (*мутировать*) случайным образом, и такие изменения (*мутации*) наследуются. Если мутация окажется полезной для выживания, то доля таких мутантов в последующих поколениях будет возрастать. В результате таких процессов популяция в целом эволюционирует в направлении большей приспособленности к окружающей среде.

Для создания таких сложных органов, как глаз, требуется много "согласованных" между собой мутаций. Одновременное возникновение множества скоординированных мутаций крайне маловероятно, поэтому эволюция идет путем накопления малых сдвигов. В ходе естественного отбора закрепляются лишь те изменения, которые полезны в настоящий момент: отбор не обладает даром предвидения. Поэтому все промежуточные стадии в эволюции органа должны быть функционально полезными и приводить к его постепенному совершенствованию. Оказалось, что даже с учетом этих ограничений естественный отбор может обеспечить создание удивительно сложных структур и функций.

Эволюция лишь имитирует процесс осознанного выбора цели и конструирования, однако сходство так велико, что в большинстве случаев очень полезно ставить вопрос, каково "предназначение" той или иной структуры или функции. Предположение о том, что

та или иная структура служит определенной цели, оказалось весьма плодотворным для экспериментальной биологии.

Хотя неживые физические системы и способны к целенаправленному поведению, все такие механизмы требуют весьма изощренного конструирования. Поэтому возникает вопрос, откуда появляются надлежащие конструкции? Если устройство создал инженер, то это результат его работы, а вот как обстоит дело с биологическими системами? Рассмотрим для примера, что такое часы.

Часы

Цицерон — весьма беспринципный политик, склонный к философствованию, — в своем сочинении “De Natura Deorum” (“О природе богов”) сравнивал мир с водяными или солнечными часами и восхвалял творца, который создал природу. Обычно это сравнение мира с часами связывают, однако, с именем Уильяма Палея (1743–1805), английского церковника, одного из приверженцев “естественной теологии”; этот автор пытался доказать существование Бога (надеюсь, христианского), основываясь на разумности устройства Природы. Его книги, написанные исключительно ясным языком, числились в обязательном списке пособий для студентов Кембриджского университета почти весь девятнадцатый век.

“Вот я иду по пустоши”, — писал Палей в начале своей “Естественной теологии”, — и, предположим, спотыкаюсь о камень... Могу поручиться, он лежал там всегда... А теперь представим себе, что я нашел лежащие на земле часы... Вряд ли мне придет в голову, что и часы всегда лежали здесь, ... ибо если мы станем их изучать, то придем к выводу (к которому мы не смогли бы придти, изучая камень), что части их имеют определенную форму и соединены так, чтобы выполнять определеннную работу. Эти часы должны двигаться, и притом таким образом, чтобы указывать время дня... И мы приходим к неизбежному выводу, что часы были кем-то созданы”.

Палей был предусмотрителен и точен, и поэтому он не преминул упомянуть о другом — фантастическом! — предположении, что найденные часы “обладали неожиданной способностью, работая, производить себе подобных”. К счастью для себя, он даже не подозревал и никогда не узнал, насколько роковым это последнее рассуждение со временем окажется для всей его аргументации.

Что можно сказать об этом доводе сегодня? Если я выйду прогуляться и найду часы, не способные к размножению, то и я скажу, и любой другой без колебаний скажет, что вывод Палея был абсолютно правильным: безусловно, был где-то и когда-то мастер, который сделал эти часы. Ну а теперь представим себе, что я, гуляя по берегу моря, нашел не часы, а устрицу. К какому выводу я должен придти?

В некотрых отношениях устрица действительно сходна с часами: она тоже представляет собой высокоупорядоченный механизм, в котором можно усмотреть что-то аналогичное целенаправленной конструкции. Но в ней имеется и нечто такое, чего нет ни в одних часах, — "рабочий чертеж" или код, описывающий ее устройство и программирующий ее воссоздание. Это позволяет нам объяснить существование данной устрицы тем, что соответствующий "чертеж" был заложен в другой устрице, существовавшей ранее. Короче говоря, одна устрица создает другую, так что никакого стороннего изготовителя их не требуется.

Конечно, Палей мог бы ответить: каждая устрица способна призвести на свет другую, но обязательно должен был существовать творец, который создал первую устрицу в цепи их поколений; ведь устрицы, подобно часам, сложно устроены и приспособлены для достижения определенной цели, так что они, безусловно, могли быть созданы только при участии творца.

Заслугой Альфреда Рассела Уоллеса и Чарлза Дарвина было доказательство того, что этот вывод, кажущийся столь ясным, неправомерен, когда речь идет о размножающихся существах. Эти ученые на конкретном материале показали, как порядок и целесообразность могут "спонтанно" возникать из беспорядка, и именно в этом революционность их идеи[1)].

Суть концепции самоусовершенствования по Уоллесу и Дарвину можно лучше всего прояснить путем конструирования (хотя бы только на бумаге) самовоспроизводящейся машины. Первым это сделал математик фон Нейман. Он показал, что логически вполне возможно построить "универсальную машину", которая по данным ей инструкциям способна создать любую другую машину заданного устройства. Доказательство слишком сложно, чтобы

[1)] Этого, наверное, следовало ожидать, так как еще философ Эммануил Кант (1724–1804) показал, что логически неверно ссылаться на свойства "сотворенного". Это понимает большинство современных теологов, и они избегают такой аргументации. Они соглашаются, что само существование Бога-творца нельзя доказать ни логически, ни эмпирически — следует опираться только на веру. Однако ссылки на результат творения все еще в ходу у тех, кто не слишком силен в философии.

приводить его здесь, но если мы его примем, то будет ясно, что такую машину можно запрограммировать и на воспроизведение самой себя. А если машина к тому же будет способна копировать заложенные в нее инструкции и передавать их вновь созданной машине, то эта новая машина сможет создать третью, идентичную двум первым, и так далее. Такие механизмы становятся потенциально бессмертными; какой-то из них может выработать свой ресурс и "умереть", но их "род" будет продолжаться.

Фон Нейман показал, что подобное устройство должно включать три функциональные части:

A — рабочий механизм, который обеспечивает физическое построение машины (инженер назвал бы его линией с программным управлением, и это обычная вещь на современных заводах);

I — инструкции (команды), записанные на носителе информации, которые указывают рабочим органам, что им следует делать (говорят, что носитель содержит описание A, если он несет информацию, необходимую для построения A);

B — устройство для копирования инструкций.

В целом всю систему (S) можно условно представить как

$$S = A + B + I.$$

Такая самореплицирующаяся (самовоспроизводящаяся) машина прекрасно моделирует *саморепликацию* живого организма. A — это "тело", I — гены, а B — механизм копирования генов; он передает их следующему поколению.

Отметим, что машина фон Неймана вовсе не обязательно должна быть построена по "минимальному" плану, обеспечивающему лишь ее самовоспроизведение. И гриб, и человек могут самовоспроизводиться, но, помимо этого, обладают еще рядом свойств, специфичных для каждого из этих организмов. Можно представить себе, что носитель информации у них состоит из двух частей — I_s и F. I_s содержит инструкции для самовоспроизведения, а F определяет различные другие свойства. Условно строение таких "машин" можно представить так:

$$S = A + B + (I_s + F).$$

Если в части F будут происходить изменения, то в результате могут появляться новые разновидности самовоспроизводящихся машин, причем сложность их устройства может возрастать. Говоря на биологическом языке, это означает, что такие машины способны мутировать и претерпевать эволюцию, т. е. их потомки могут отличаться от родителей.

Но сказанного недостаточно, чтобы удовлетворить Палея, не говоря уже о современных биологах. Если самовоспроизводящиеся

машины будут просто изменяться случайным образом в результате мутаций, то это не приведет к их направленной эволюции. Чтобы появилась устрица, которую Палей признал бы аналогом часов, у организмов должны были "спонтанно" выработаться такие сложные особенности, как жабры, кишечник, раковина, целенаправленное поведение и т. п., что кажется просто невероятным.

Идея естественного отбора

В 1959 г. Дарвин и Уоллес направили в лондонское Линнеевское общество совместный доклад, в котором шла речь о механизме, обеспечивающем направленность эволюции и придающем ей смысл. В этом докладе была высказана идея естественного отбора.

Несколько столетий назад китайцы одомашнили золотую рыбку. Наблюдая за ее популяциями, они отметили, что среди рыб иногда появляются "спорты", или, как мы сегодня говорим, мутанты. Мутации всегда происходят внезапно, по всей видимости случайным образом и спонтанно. Возникнув, новые признаки передаются потомству. Используя их в селекции, за относительно короткое время китайцы и японцы вывели удивительно разнообразные породы рыбок с плавниками и хвостами причудливой формы и расцветки. Точно таким же способом были выведены из волкоподобных предков бульдоги и пудели. Если бы мы обнаружили эти формы в природе, мы, несомненно, сочли бы их отдельными видами (рис. 3-1). Таким образом, виды способны изменяться.

Конечно, отбор этих новых форм собак и рыб производился человеком. Что же нового предложили Уоллес и Дарвин? Их гипотеза заключалась в том, что если некоторые из естественно возникающих "спортов" окажутся лучше приспособленными к условиям жизни, чем "нормальные" особи, то выживать будут преимущественно первые, постепенно вытесняя со сцены обычные формы. Такой естественный отбор будет играть роль сита и повышать приспособленность организмов, создавая видимость целенаправленного процесса.

Крупномасштабная эволюция (например, переход от рыб к амфибиям) требует времени, и ее ход можно проследить только по ископаемым остаткам. Более ограниченные эволюционные события происходят гораздо быстрее и позволяют непосредственно наблюдать то, о чем Уоллес и Дарвин заключили на основании весьма косвенных данных.

Приведу такой пример. Для живущего в озерах крошечного

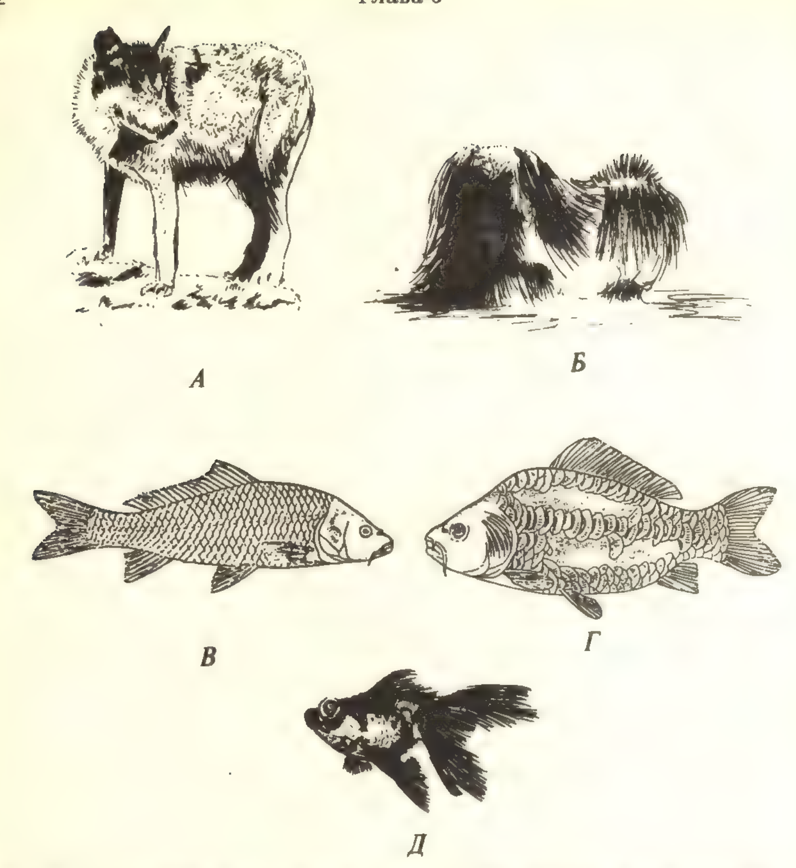


Рис. 3-1. Эффективность отбора. *А–Б.* Превращение волка в пуделя. *В.* Дикий карп. *Г.* Одомашненный карп. *Д.* Золотая рыбка — декоративная форма, также полученная в результате отбора.

рачка циклопа (*Cyclops*, рис. 3-2) характерны суточные вертикальные миграции в толще воды: ночью он питается у поверхности, а днем опускается на глубину. Делает он это для того, чтобы не стать добычей некоторых рыб, питающихся циклопами только в хорошо освещенных водах.

Эти миграции требуют затрат энергии, а циклопы во время таких передвижений не питаются. В горных озерах польских Татр, где опасных рыб никогда не было (в данном случае "никогда" означает время с момента образования этих озер несколько тысяч лет назад, после оледенения), миграция рачков не наблюдается или

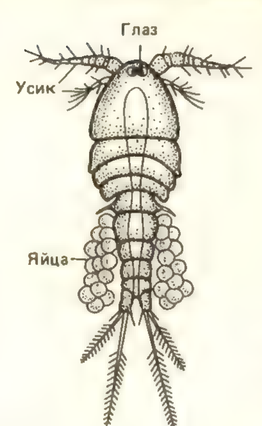


Рис. 3-2. Циклоп — крошечный рачок с одним глазом посередине. Обычно встречается в озерах, где служит кормом для многих рыб.

выражена очень слабо. Недавно, однако, в некоторые их этих озер попали рыбы, и спустя примерно 25 лет у циклопов начались заметные миграции. Сильно выраженные миграции обычно появляются лишь после нескольких столетий преследования рачков хищниками. В этом случае мы наблюдаем естественный отбор в действии: у циклопов есть изначальная склонность к миграции, и рыбы поедают тех, у которых она выражена слабее, и тем самым отбирают для производства нового поколения тех особей, которые мигрируют активнее.

Другое эволюционное изменение, которое происходит быстро, в широких масштабах и имеет большое практическое значение, — это выработка устойчивости к антибиотикам. В популяции туберкулезных бактерий большинство клеток чувствительно к стрептомицину, однако в ней всегда найдется несколько мутантных клеток, устойчивых к нему. В отсутствие антибиотика это не дает им никаких преимуществ; более того, устойчивые клетки растут несколько медленнее нормальных, и доля таких клеток в популяции значительно меньше одной на миллион, порядка 10^{-9} или около того. Но в присутствии стрептомицина выживут лишь устойчивые мутанты, а обычные клетки погибнут, и из выживших клеток образуется популяция, устойчивая к антибиотику.

О некоторых особенностях естественного отбора

1. Для того чтобы естественный отбор проявил свое действие, вовсе не обязательно, чтобы менее приспособленные особи преждевременно гибли. Вполне достаточно, если они будут размножаться медленнее, чем более "удачные" организмы. Если "джентльмены

предпочитают блондинок", то популяция будет светлеть и без истребления брюнеток: достаточно того, что у первых будет в среднем несколько больше детей, чем у вторых. Отбор действует через *дифференциальную плодовитость* — независимо от того, каким способом она достигается.

2. В популяции должны появляться мутантные формы, дающие преимущество при отборе. Например, *Neisseria gonorrhoeae* — возбудитель гонореи — часто мутирует с образованием форм, нечувствительных к пенициллину. С такими устойчивыми популяциями часто приходится иметь дело в клинике, ибо только они могут размножаться в присутствии пенициллина. А вот у *Treponema pallidum*, вызывающей сифилис, такие мутации, видимо, невозможны, и популяций трепонемы, устойчивых к пенициллину, не встречается. (Лечение сифилиса пенициллином иногда может быть безуспешным, но это бывает по причинам, не связанным с устойчивостью возбудителя.)

3. Признак, по которому идет отбор, должен наследоваться и быть генетически обусловленным. Если это не так, то отбор не даст результата. Предположим, мы будем вести отбор на такой признак, как "способность выигрывать в лотерею". Ясно, что если мы позволим размножаться только победителям лотерей, мы вряд ли получим популяцию, где большинство будет грести деньги лопатой, — это было бы абсурдно. Впрочем, сходную идею выдвигали так называемые "социалдарвинисты". Они предлагали ограничить рождаемость у бедных и способствовать размножению богатых, что, по их мнению, должно было привести к исчезновению бедности в популяциях человека. Ошибка связана здесь со смешением двух совершенно разных вещей — юридического наследования материальных благ и биологического наследования генов. Не нужно, однако, забывать о том, что генетически не определяемый признак иной раз может быть связан с определяемым. Например, если богатство будет как-то связано с особенностями личности (например, со склонностью к хулиганству или мошенничеству) и если такой тип личности в какой-то мере наследуется, то отбор, вероятно, увеличит в последующих поколениях частоту появления индивидов именно такого сорта. Вначале, пока их мало, это могло бы быть им на пользу, но когда мошенники станут численно преобладающим типом, отнюдь не ясно, будет ли все общество богаче. Без сомнения, большинство мошенников средней руки попадет в лапы меньшинству особенно прожженных.

4. Мутации, благоприятные или неблагоприятные для организма, возникают случайным образом и не определяются "потребностью" в них. Например, частота мутаций у *Cyclops*, определяющих

способность к миграциям, не возрастает под воздействием хищников, точно так же как стрептомицин не повышает частоту появления стрептомициноустойчивых форм (в некоторых случаях он может увеличивать частоту *всех* мутаций, но никак не избирательно способствовать мутациям устойчивости).

Постепенная эволюция сложных структур и функций

Все сказанное выше очень ясно и понятно, если изменения какого-то адаптивного признака — результат единичной мутации: случившись, она попадает под действие отбора. Однако против таких представлений может быть выдвинуто одно возражение, которое на первый взгляд кажется весьма серьезным. Оно связано с вероятностью, или, точнее, невероятностью некоторых событий. Для примера рассмотрим эволюцию глаза человека или осьминога.

Вероятность одновременного возникновения ряда мутаций, приводящих, например, к образованию сетчатки (слоя светочувствительных клеток), хрусталика и т. д., ничтожно мала. Представить себе, что такие одновременные изменения могут произойти в результате случайных мутаций — это все равно, что бросить в коробочку полный набор часовых деталей, встряхнуть их и ожидать, что они сами сложатся в целые часы. Но если мутации происходят не одновременно и в результате будет не хватать хотя бы одного компонента глаза, то такой глаз окажется бесполезным и отбор по всем прочим мутациям будет невозможен.

Это возражение абсолютно верно, однако заметим, что вероятности определяются условиями игры. Предположим, вы бросаете сто костей в надежде, что выпадут все шестерки. Вероятность получить такую комбинацию в одном броске равна $(1/6)^{100}$ — она настолько мала, что о ней не стоит и говорить. В чем-то эта игра похожа на появление глаз у человека или осьминога в результате множества одновременных мутаций. Предположим, однако, что у игры другие правила. Вы бросаете сразу сто костей, отбираете выпавшие шестерки, а остальные кости потом бросаете снова. Тогда из ста костей вы можете ожидать 17 шестерок в первом броске, 14 — в следующем (из оставшихся 83) и так далее. После нескольких бросков все кости на столе будут шестерками. Причина столь быстрого успеха заключается в новых правилах, позволяющих сохранять каждый достигнутый успех и двигаться далее. Именно такие правила действуют в биологической игре в тех случаях, когда частичный успех, т. е. пока еще несовершенная структура, уже приносит какую-то пользу — делает что-нибудь немного луч-

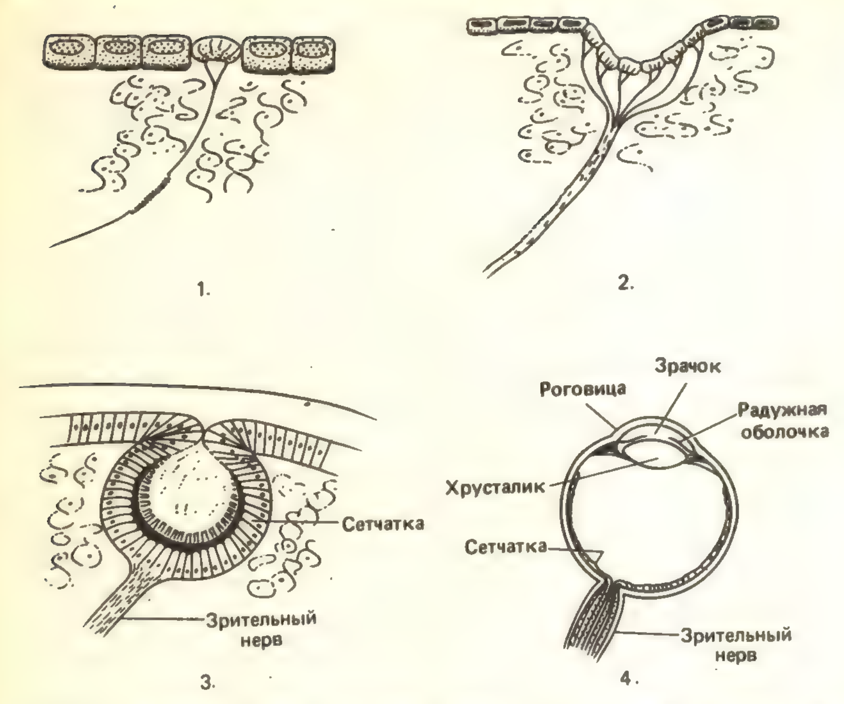


Рис. 3-3. Четыре стадии эволюции глаза. *1.* Одиночная светочувствительная клетка на поверхности тела. *2.* Группа таких клеток: начало образования глазной чаши. *3.* Глаз морского червя, напоминающий камеру-обскуру. *4.* Камерный глаз. Хотя на каждой стадии глаз устроен несколько проще, чем на последующей, он способен функционировать и полезен.

ше, чем прежняя, и поэтому подхватывается отбором. При этом конечная цель достигается путем последовательных приближений.

На рис. 3-3 представлены разные типы устройства глаз, поясняющие этот принцип.

Вначале показан простой детектор света, появление которого объяснить несложно, поскольку все живое в той или иной степени чувствительно к свету. На следующем этапе появляется слой темного пигмента, прикрывающий светочувствительные клетки с одной стороны. Теперь организм может приблизительно определить, откуда падает свет. Далее светочувствительные клетки впячиваются внутрь, образуя чашеобразный орган с небольшим входным отверстием, и на слое этих клеток (сетчатке), как в камере обскуре, может формироваться грубое изображение. Затем, кожные

клетки над такой чашей могут утолщаться — из них образуется хрусталик, и мы получаем настоящий глаз. Он способен совершенствоваться разными способами: например, в нем может появиться радужная оболочка, регулирующая величину входного отверстия, мышцы для фокусировки изображения путем изменения формы хрусталика или его положения и многое другое.

Таким образом, сложные структуры могут создаваться в результате естественного отбора, если в принципе их можно получить путем постепенного усложнения так, чтобы каждый новый этап давал какое-то дополнительное преимущество. Поскольку естественный отбор не обладает даром предвидения, он никогда не может способствовать появлению некой промежуточной структуры, не доставляющей сразу же определенной выгоды, даже если бы эта структура и могла оказаться полезной в отдаленном будущем.

Некоторые адаптации весьма совершенны, и кажется, что их создание было бы невозможно без предвидения и изобретательности; поэтому многим трудно поверить, что это произошло путем простого накопления отдельных сдвигов к лучшему. Ведь во многих случаях мы не можем продемонстрировать всю цепь промежуточных этапов процесса, как в случае эволюции глаза.

Практическая польза гипотез о цели биологических приспособлений

Результаты естественного отбора иногда настолько близко имитируют целенаправленность и поиск оптимальной организации, что полезно бывает ставить вопрос, какова была цель выработки какой-то структуры или функции. Подобную тактику успешно использовал еще Уильям Гарвей (1578–1657), известнейший в свое время физиолог, открывший кровообращение. В письме к химику Роберту Бойлю он говорит: "...клапаны в венах ... расположены так, что они позволяют крови двигаться к сердцу, но препятствуют ее обратному току... [рис. 3-4]. Природа не могла разместить множество клапанов таким образом, если бы не имела определенного замысла". Далее Гарвей приходит к заключению, что "...кровь от сердца идет в артерии и возвращается назад по венам".

Конечно, впоследствии Гарвей проверил справедливость этого вывода в различных экспериментах. Многие другие исследователи после него делали и сегодня делают верные заключения, основываясь на этом "принципе конструктивного замысла", который правилен не потому, что мы имеем дело с преднамеренной реализацией

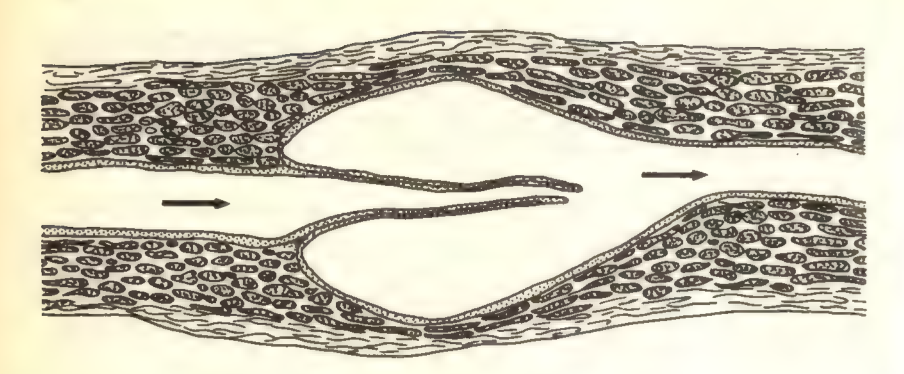


Рис. 3-4. Клапаны в венах позволяют крови течь только в одном направлении.

какого-то плана, а потому, что реальный процесс очень хорошо ее имитирует. В своей практической работе биологи должны быть и телеологами, и в то же время знающими людьми.

Литература:

D. L. LeMahien. "The Mind of William Paley", Univ. of Nebraska Press, 1979, Lincoln and London.

Глава 4

Приспособленность среды

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Теория эволюции путем естественного отбора, видимо, не позволяет уже отстаивать роль творца, ссылаясь на целесообразность, наблюдаемую в живой природе. Есть, однако, ряд кажущихся адаптаций, которые невозможно объяснить естественным отбором. Оказывается, например, что химические и физические свойства многих веществ и определяющие их константы и законы природы как будто специально "подобраны" так, чтобы в конце концов могла возникнуть жизнь. Это стали называть "приспособленностью окружающей среды": если бы фундаментальные "константы" природы были чуть-чуть иными, жизнь была бы невозможна.

Все это позволило некоторым физикам выдвинуть так называемый "антропный принцип" — концепцию, согласно которой Вселенная устроена по некоему замыслу, а может быть, существует и вложивший его Творец. Некоторые аргументы в поддержку этой концепции выглядят весьма слабыми, и их трудно как подкрепить чем-либо, так и опровергнуть. Антропный принцип принимают не все физики, но он представляет определенный интерес, так как проливает свет на научное мышление и иные направления человеческой мысли.

Дарвин и Уоллес показали, что биологические адаптации могут возникать спонтанно, без участия Творца. Но вековой опыт говорит, что ни один эксперимент, ни один факт не является абсолютно убедительным: всегда можно его оспорить, выдвинув более тонкие контраргументы. В нашем случае возрождению мысли о роли Творца способствовали давние наблюдения относительно особой "приспособленности" нашего мира для жизни.

Очевидно, что жизнь на Земле возможна, однако чем лучше мы узнаём Солнечную систему, тем больше убеждаемся, что наша планета не просто пригодна, а прямо-таки удивительно хороша для этой цели. Так ли обстоит дело, а если так, то почему?

Сократ считал, что он знает ответ на этот вопрос. Во всяком

случае Платон в одном из своих сочинений ("Федон") приписывает ему следующие замечания[1]:

> "В книге ... Анаксогора ... утверждается, что причиной и организующим началом всех вещей является Разум [Нус, по-английски mind, но это не совсем точный перевод]. Я с этим согласен, так как и мне всегда казалось, что именно разум является первопричиной всех вещей; я думал, что если это так, т. е. именно разум определяет порядок вещей, каждую из них он поместит наилучшим образом ... и он [Анаксагор] сможет сказать мне, круглая Земля или плоская ... а после того, как скажет, и объяснит ... наилучшим образом ... ибо я никогда не мог предположить, что коли он считал порядок вещей созданным Разумом, то ему нужны были и другие объяснения; мир создан наилучшим образом и будет пребывать таковым. Каково же было мое разочарование, когда я, продолжив чтение, увидел Человека, которому не нужен был Разум для объяснения порядка вещей и свойств воздухов, эфиров, вод и других нелепостей".

Для Платона природа, т. е. различные "воздухи, эфиры, воды и другие нелепости", была всего лишь бледным отражением высшей реальности, включающей и Разум ("Нус"), который совершенен, а только совершенное достойно изучения. Такого рода эстетический подход к проблеме еще жив. Мы восхищаемся физическими теориями Ньютона и Эйнштейна не только потому, что они позволяют предсказывать конкретные численные результаты, но прежде всего потому, что они "красивы". С другой стороны, многих ученых отталкивают некоторые аспекты биологии и особенно медицины, так как с интеллектуальной точки зрения они плохо упорядочены. В этом Платон и сегодня с нами.

Анаксагор, о котором Платон говорит с таким презрением, принадлежал к греческой школе "физиков": они интересовались "физикой", т. е. природой, и предпочитали наблюдать ее, а не объявлять чем-то несущественным. Одним из крупных научных вкладов Анаксагора был вывод, что Луна не светится сама, а отражает свет Солнца. Теперь мы признаем, что эти "физики", по крайней мере по своим намерениям, были первыми естествоиспытателями.

---

[1] Однако, прежде чем критиковать или восхвалять Сократа, вспомним, что Платон был склонен высказывать собственные философские и политические идеи в беллетризованных диалогах и не стеснялся приписывать разные точки зрения различным персонажам, не особенно заботясь об исторической правде. Очень может быть, что автор мыслей, изложенных в приводимом отрывке, — это в действительности сам Платон.

Хотя проблема приспособленности окружающей среды для жизни стара, она еще отнюдь не потеряла своего значения. Американский биохимик Л. Дж. Хендерсон (1878–1972) в своем классическом труде "Приспособленность среды" (1913), а позже в работе "Порядок природы" (1917) указывал, что не только организмы адаптированы к окружающей их среде, но и сама среда превосходно соответствует их нуждам, что делает жизнь возможной и даже легкой. Рассмотрим в качестве иллюстрации ряд обстоятельств, на которые обращает внимание Хендерсон.

Атомы углерода обладают поразительной способностью соединяться в длинные цепи или в кольца, с которыми могут связываться атомы других элементов. Поэтому число соединений углерода составляет сотни тысяч, в то время как число соединений всех других элементов, взятых вместе, не превышает десяти-двадцати тысяч. Именно эти свойства углерода делают возможным безграничное разнообразие ферментов, гормонов и антител, не говоря уже о нуклеиновых кислотах (важнейшая роль которых в хранении и передаче генетической информации не была, конечно, известна Хендерсону).

По химическим свойствам к углероду ближе всего кремний. Но углерод образует газообразный оксид CO_2, который очень подвижен, и именно поэтому углерод распространен повсеместно и доступен живым существам, тогда как аналогичное соединение кремния, SiO_2, представляет собой твердое тело — это компонент кварца и поэтому содержится в обыкновенном песке. Понятно, что гораздо удобнее вдыхать и выдыхать газообразный CO_2, чем частицы песка.

С этой точки зрения вода — тоже удивительное вещество. Из табл. 4-1 видно, что она обладает рядом уникальных свойств, не присущих большинству других соединений. Это наилучший из известных растворителей: разнообразные вещества, образующие горные породы и почвы, растворяются в ней и в конце концов поступают в океаны, где включаются в процессы жизни. Кроме того, в воде растворяются щелочи, кислоты и соли, образуя соответствующие ионы, что намного увеличивает реакционную способность этих соединений. Удельная теплоемкость воды, т. е. количество тепла, необходимое для нагревания одного грамма вещества на 1°C, выше, чем у всех других веществ, за исключением аммиака и газообразного водорода. Именно поэтому океаны способны поглощать и отдавать огромные количества тепла без значительного изменения собственной температуры, а потому и температуры атмосферы. Это обеспечивает относительное постоянство температуры окружающей среды, столь важное для протекания биологических про-

Таблица 4-1. Физические константы различных жидкостей, которые могли бы в принципе служить растворителями в биологических системах. Обратите внимание, что свойства воды во многих отношениях необычны. Это обусловлено тем, что в ее структуре важную роль играют водородные связи. Уникальность свойств воды была бы видна еще лучше, если бы мы рассмотрели еще ряд других жидкостей

Вещество	Точка плавления, °C	Точка кипения, °C	Диэлектрическая постоянная	Теплота парообразования, кал/г	Теплота плавления, кал/г	Удельная теплоемкость
Вода (H_2O)	0	100	81	540	80	1,0
Аммиак (NH_3)	−78	−33	22	327	108	1,0
Двуокись углерода (CO_2)	−57[1]	−79[2]	1,6	87	45	0,3
Метан (CH_4)	−184	−162	1,7	138	15	0,8
Цианистый водород (HCN)	−14	26	116	223	74	0,6

[1] При 5,2 атм.

[2] При атмосферном давлении возгоняется.

цессов. Вода обладает также способностью к аномальному расширению при замерзании. В отличие от большинства веществ, вода в твердом состоянии (лед) имеет меньшую плотность, чем в жидком, и поэтому лед в ней не тонет. Если бы не это, лед накапливался бы на дне морей и озер, что резко уменьшало бы запасы жидкой воды, необходимой живым существам. Поверхностное натяжение воды выше, чем у других обычных жидкостей (за исключением ртути), и поэтому вода легко поднимается по капиллярам почвы и тканей растений. По сравнению с другими аналогичными соединениями вода имеет необычно высокую температуру плавления и кипения, что позволяет биологическим реакциям идти в жидкой фазе при более высокой температуре и поэтому с большей скоростью, т. е. на планете, достаточно близкой к Солнцу, где приток энергии, поддерживающей жизнь, достаточно велик.

После того как Генри Уоллес и Чарлз Дарвин завершили свою работу, было уже нетрудно понять, почему организмы приспособлены к среде своего обитания. Вначале была именно среда, а организмы адаптировались к ней путем естественного отбора: те, которым это не удалось, сейчас уже не существуют. Но все это не

позволяет понять "приспособленность" самой среды для развития жизни. Свойства химических элементов были предопределены задолго до появления живых существ, и между будущим и прошлым не могло быть обратной связи. Без сомнения, кто-нибудь вроде условного "Сократа" из платоновских диалогов мог бы увидеть во всем этом указание на то, что углерод, водород и кислород были специально созданы для будущей жизни.

Природа в основе своей едина, так что свойства углерода и воды не могут быть совершенно независимы, скажем, от свойств неона или железа. Поэтому невозможно думать, что особенности мельчайших частиц, например атомов углерода, водорода или кислорода, и такие астрономические параметры, как размеры Земли или расстояние от Земли до Солнца, были произвольно и независимо подобраны кем-то для какой-то цели. Однако, как справедливо отмечал Хендерсон, это все же не исключает возможности телеологических объяснений, хотя и в измененной форме. Поскольку Вселенная едина, желающим верить в целенаправленность ее создания придется верить и в единство первоначального замысла, который должен был охватывать все от начала до конца. Наука до сих пор допускает телеологические взгляды на Вселенную в целом, но не по отношению к ее отдельным составляющим. Однако Хендерсон считал, что если некий замысел творения и был, то изучать его не входит в задачи науки. Вот что он говорил по этому поводу:

"Развитие науки приговорило старую телеологию к смерти. Ее лишившийся тела дух, освобожденный от идей витализма и от всякой материальной основы, еще живет, но науке нечего бояться этого призрака. Сегодня человек науки не обязан даже иметь определенное мнение о реальности телеологии, ибо она пребывает в другом мире, куда ученый никогда не сможет проникнуть".

Антропный принцип

Хендерсон ошибался, когда писал, что "науке нечего бояться этого призрака". К 1977 г. телеология возродилась в новом обличье достаточно подробно разработанной теории — "антропного принципа". Речь здесь идет о приспособленности не только земной среды, а уже всей Вселенной для появления "сознательной жизни".

Произошло это в результате больших перемен в физике. Вплоть до времени, когда жил Хендерсон, физический мир был представлен "телами" и "полями"; под "полем" понимали некую среду, способную двигать тела, как, например, магнитное поле. Но с

приходом квантовой теории, предложенной в 1900 г. и существенно улучшенной около 1932 г., такая картина мира была разрушена. "Тела", особенно очень малые объекты, такие как нейтроны и электроны, физика стала рассматривать как волны, причем не материальные или хотя бы "эфирные", а вероятностные. Они являются волнами в том смысле, что взаимодействие между ними описывается при помощи того же математического аппарата, который используется для описания более привычных нам волн, например морских. "Волновая функция", скажем, электрона характеризует вероятность того, что электрон окажется в данном месте в данное время. При этом невозможно предсказать, окажется ли он там в действительности, так что на микроуровне строгий детерминизм исчезает.

По одной из интерпретаций квантовой теории, только акт наблюдения превращает волну вероятности в некий "объект", например в электрон. В этом смысле именно сам наблюдатель создает известный нам "реальный мир". Иными словами, "реальный мир" — это продукт взаимодействия между таинственным и удивительным субстратом, состоящим не из вещества и полей, а из вероятностей, и наблюдателем, существование которого столь же призрачно, так как он сам образовался из того же субстрата. Поскольку роль наблюдателей так важна, это делает допустимой и даже прямо подсказывает мысль, что они не просто наблюдают мир, но и участвуют в его создании. Именно по этой причине антропная теория не представляется слишком абсурдной.

По своей фактологической основе антропный принцип сходен с теорией "приспособленности среды" Хендерсона. Предполагается, что различные числовые константы физических уравнений (например, сила тяготения, создаваемая протоном), по существу, произвольны: они могли бы быть и больше, и меньше. Можно даже рассчитать, какой была бы Вселенная, если бы та или иная из этих констант имела другое значение (или, в некоторых случаях, иными были начальные условия). Это похоже на мысли ранних натурфилософов, которые пытались представить себе, как выглядел бы мир, если бы, например, точка замерзания воды была иной. Приведу лишь ряд примеров (опуская математические расчеты).

Если бы сила тяготения, создаваемая одним протоном (т. е. гравитационная постоянная), была чуть-чуть меньше, то все звезды стали бы красными карликами — звездами небольших размеров и малой светимости. А если бы она, наоборот, была чуть-чуть больше, то все они стали бы огромными голубыми гигантами с высокой светимостью и быстро бы "выгорели". В обоих случаях около них не могли бы долго существовать планеты с температурными усло-

виями, пригодными для жизни, а значит, не было бы и нас. Есть и много других "счастливых совпадений", которые как будто бы специально объединились в одной Вселенной для того, чтобы сделать возможным наше существование. Вот что по этому поводу писал физик П. Дэвис:

"Без сомнения, Вселенная — это удивительная вещь: в крупном масштабе она чрезвычайно однородна, но не настолько, чтобы не могли сформироваться галактики. В ней чрезвычайно низкая энтропия в пересчете на протон, и поэтому она достаточно холодна для протекания химических процессов. Близкие к нулю значения сил космического отталкивания и скорость расширения с невероятной точностью соответствуют содержанию энергии. Величины сил, позволяющих существовать атомным ядрам, таковы, что они не дают выгореть всему водороду космоса. Есть и много других благоприятных совпадений".

Сократ, без сомнения, отбросил бы прочь книгу Анаксагора и обратился к сочинениям некоторых современных физиков, если бы они были в то время в Афинах.

Однако доводы вроде приведенных выше убедили не всех. Утверждения, что "вселенная — удивительная вещь", что "в природе нет достойных упоминания слепых сил" или что она вся зависит от "случайных благоприятных событий", исходят из того, что Вселенная, в которой мы живем, попросту "невероятна". Однако под вероятностью понимают частоту некоего события в целой серии наблюдений. Между тем мы знаем только одну вселенную, да и ту не слишком глубоко; поэтому не совсем ясно, что означает по отношению к ней слово "невероятная". Возможно, имеется в виду, что из всех мыслимых сочетаний конкретных значений физических констант лишь немногие позволяют реализовать условия, при которых возможна жизнь. Но если этим хотят доказать, что константы природы могут иметь именно присущие им значения, т. е. такие, которые образуют непротиворечивое сочетание, то все дискуссии о том, какой могла бы быть Вселенная при других значениях констант, будут приводить к одному и тому же тривиальному заключению о невозможности существования такой Вселенной. Можно, конечно, спросить, почему она существует, но это будет уже несколько иной вопрос.

Есть несколько вариантов "антропного принципа"

Согласно "слабому" варианту этого принципа, "то, что мы ожидаем увидеть, должно соответствовать условиям, необходимым для

нашего присутствия" как наблюдателей. Это верно, но тривиально. Если бы существовали другие вселенные, реальные или потенциальные, мы бы присутствовали как наблюдатели только там и тогда, где условия допускают наше существование. Поэтому любая вселенная, которую мы наблюдаем, неизбежно будет обладать "удивительными свойствами", благоприятными для развития жизни.

"Сильный" вариант гласит: "Вселенная должна быть такой, чтобы на некоторой стадии ее развития в ней могли появиться наблюдатели". Известный физик и космолог Уилер по этому поводу заметил: "Что толку во вселенной без знания о ней?" Уилер несколько видоизменяет здесь формулировку "сильного" варианта, говоря, что "Вселенная должна быть для чего-нибудь нужна", а это близко к мысли Сократа: "Я думаю, что если все обстоит именно так и Разуму подвластно все, то он должен наилучшим образом определить порядок вещей".

Сторонники взгляда, согласно которому "Вселенная должна быть для чего-то приспособлена", возможно, верят (как и большинство ученых), что реально только наблюдаемое. Поэтому для того, чтобы Вселенная стала реальной, в ней должны появиться и наблюдатели, придающие ей реальность, хотя бы через несколько миллиардов лет. Видимо, те вселенные, которые являются кому-то в галлюцинациях, тоже должны обладать преимуществом наблюдаемости; поэтому они становятся реальными без лишних хлопот по их созданию.

Надо сказать, что "наблюдаемый" — понятие весьма неопределенное. Например, по мере того как мы переносимся мыслью в прошлое, особенно в отдаленное прошлое Вселенной, представление о "наблюдаемости" и, соответственно, реальности становится все более расплывчатым. Поэтому книги и статьи, в которых обсуждаются принципиально ненаблюдаемые события (например, то, что происходило через 10^{40}-ю долю секунды после возникновения Вселенной в результате Большого взрыва), не принадлежит нормальной науке: это мифы, созданные физиками. Поскольку их авторы — сегодняшние физики, эти сочинения по своему содержанию, естественно, отличаются от книг священнослужителей Гелиополя: у тех была своя модель создания мира из Хаоса. Физики отличаются также от античных авторов, веривших, что дело было так: утка нырнула и схватила клювом ил, из которого и был слеплен мир. Однако в любом случае это мифы, древние или современные. Впрочем, я не хочу сказать, что эти мифы не представляют интереса — совсем наоборот.

Авторы более сильного варианта теории (назовем его "антроп-

ным принципом Участника") сразу берут быка за рога: они утверждают, не вдаваясь в подробности, что мы сами создали нашу Вселенную. Она приспособлена для жизни именно потому, что сама жизнь участвовала в ее построении; человек ироничный добавит, что в этом деле мы изрядно подхалтурили. К таким представлениям привыкнуть не просто, и обычно они производят весьма странное впечатление.

Была ли Вселенная соткана пауками?

Если смысл существования Вселенной в том, чтобы создать наблюдателей, то самым важным будет вопрос "кто, с точки зрения Вселенной, годится на эту роль?" Пауки, например, подходят? Они тоже прислушиваются к вибрациям Вселенной, хотя и в ничтожно малой ее части — в паутине, в которой запутываются мухи. Не рассматривая всерьез пауков, антропоцентричные проповедники таких взглядов предпочитают говорить о "сознательном" наблюдателе. К сожалению, хотя мы и привыкли думать, что пауки менее "сознательны", чем люди, по внешнему поведению трудно судить, обладает ли сознанием животное или машина. Само по себе сознание вполне реально, но воспринимается лишь изнутри, самим субъектом. Тогда как же Вселенная могла бы знать, что она создает "сознательные" существа, способные быть наблюдателями? На самом деле всякое предположение о том, что вселенная о чем-то "знает", делает антропный принцип ненужным, поскольку такая Вселенная сама по себе создает и сознание, и наблюдателя.

Хотя в поддержку антропной теории активно выступают некоторые физики, сегодня в науке это не главная тема для дискуссий. Я упомянул ее в основном потому, что это проливает свет на механизмы человеческого мышления. Само ее существование говорит о том, что идеи не умирают; со временем они лишь принимают более утонченную форму. По сути дела, почти все философские идеи и доводы в их пользу и против них были известны, хотя и в примитивной форме, уже в досократовской Греции. Обсуждая их сегодня, мы просто имеем дело с их улучшенными вариантами. Чем же это определяется? Ограниченностью набора наших мыслей? Или мы настолько умны, что поняли суть природы еще в древние времена? Подозреваю, что первое объяснение ближе к истине.

Верна или неверна антропная теория, в любом случае на ее примере можно видеть, как трудно дается отказ от идеи, что человек — центр всего сущего, и легче понять, почему эта идея так

упорно поддерживалась в прошлом. Хотя еще примерно в 275 г. до н. э. Аристарх Самосский предполагал, что Земля не является центром Вселенной, ему удалось убедить лишь очень немногих. Антропоцентрическая идея естественна для ребенка, но и ученый нередко попадает в ее капкан.

Впрочем, возможно, это вовсе и не капкан. Вселенная — странное и удивительное образование, и в будущем она может нам показаться еще необычнее. Фалес Милетский говорил, что "все вещи суть вместилища богов". Один из самых таинственных аспектов Вселенной — это сознание, которое, видимо, глубоко коренится в природе мироздания, причем мы сами его носители. Так что лучше не спешить с окончательными выводами.

Наш мозг и сознание постепенно изменялись. Астроном Фред Хойл сказал, что жизнь прошла путь от биохимии до электроники. Конечно, под электроникой он подразумевал не какие-нибудь транзисторы, а любые механизмы получения и переработки информации, особенно центральную нервную систему. У низших форм жизни и "электроника" примитивная, но чем выше мы поднимаемся, тем бо́льшую роль она играет. На нижней ступени жизни стоят бактерии, уже способные осуществлять упорядоченные химические реакции. Именно химия лежит в основе жизнедеятельности, и к ней мы обратимся в следующей главе.

Литература

Carr B. J., Rees M. J. The Antropic Principle and the Structure of the Physical World, Nature, **278**, 605, 1979.

Davies P. C. W. The Accidental Universe, Cambridge Univ. Press, N. Y. 1982.

Глава 5

Химическая машина

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. С точки зрения химии живая система находится в динамическом стационарном состоянии: в нее поступают и из нее выходят вещества, но система в целом сохраняется. Для поддержания такого состояния, которое, по существу, и есть жизнь, в системе все время происходит обмен веществ, т. е. синтез и распад соединений, что требует непрерывного притока энергии. Нужен также механизм контроля над тем, какие реакции будут протекать в системе.

Энергия — это способность производить работу. Существуют разные формы энергии, способные переходить друг в друга. Для биологии наиболее важна химическая форма энергии.

С представлением об энергии тесно связано понятие о равновесии. Это такое состояние системы, которое не меняется спонтанно во времени. Если смешать различные вещества, то они будут взаимодействовать, и в конце концов система придет в равновесие. При этом система окажется на самом низком энергетическом уровне; однако энергия, выделяемая при движении системы к равновесию, может использоваться для совершения работы, например для удаления каких-то других реакций от точки равновесия и образования при этом веществ с более высокой энергией.

Хотя химические системы сами по себе всегда движутся к равновесному состоянию, скорость этого движения может быть разной — от очень высокой до практически нулевой. Вещества, скорость превращения которых очень низка или равна нулю, находятся, как говорят, в метастабильном состоянии. Катализаторы могут повышать реакционную способность таких веществ и ускорять движение к равновесию. Биологические катализаторы называются ферментами. Каждый из них избирательно ускоряет строго определенные реакции, и от ферментов, таким образом, зависит, какие реакции будут идти с повышенной скоростью.

Все ферменты — белки. Белок представляет собой цепочку соединенных друг с другом аминокислот. Каждому белку присуща своя уникальная последовательность аминокислот, закодирован-

ная в генах, поэтому именно гены определяют, какие реакции в организме будут ускоряться биологическими катализаторами.

◇◇

Общие свойства химической машины

Проявления жизни многогранны, но живой организм всегда представляет собой систему химических соединений, находящуюся в динамическом стационарном состоянии, где одни вещества превращаются в другие. Совокупность всех этих превращений называют *обменом веществ* (*метаболизмом*). Определенные вещества поступают в систему извне, претерпевают в ней превращения и в конце концов ее покидают.

Для описания этих процессов важно понятие *стационарного состояния*. Суть его в том, что хотя вещества входят в систему и выходят их нее, в целом она не изменяется. Простейшая аналогия — это фонтан, в который поступает вода, а затем выливается, но уровень этой проточной воды остается неизменным. "Целью" системы является поддержание своего существования, т. е. сохранение стационарного состояния.

Образующие живую систему вещества способны вступать в разнообразные реакции, но для поддержания стационарного состояния нужно, чтобы в системе происходили лишь вполне определенные взаимодействия веществ. Как мы вскоре увидим, в организме есть хранилище информации, с помощью которой он определяет, какие из множества реакций должны происходить, а какие — нет. Как эта информация кодируется, как передается и как используется для поддержания стационарного состояния — все это составляет проблему жизни, если рассматривать ее с позиций химии.

Поскольку для синтеза многих химических компонентов организма требуется энергия, необходим ее приток извне. Поэтому управление химическими реакциями и их энергообеспечение тесно взаимосвязаны.

Энергия

Слово "энергия" происходит от греческого ergon — работа; можно сказать, что энергия — это способность производить работу. В механике работа равна силе, помноженной на расстояние, на которое перемещается точка ее приложения. В свою очередь сила — это способность придавать ускорение, т. е. менять скорость движения массы. В более широком плане все это детально рассматривается

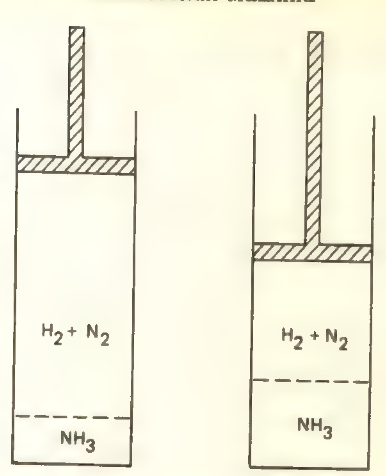


Рис. 5-1. Молекулы водорода и азота взаимодействуют с образованием аммиака: $3H_2 + N_2 = 2NH_3$. При повышении давления его образуется больше. Таким образом, увеличивая давление (производя работу), мы повышаем выход аммиака. Это пример превращения механической энергии в химическую.

физикой, физической химией и термодинамикой. Здесь мы ограничимся лишь качественными аспектами.

Энергия, которой обладает тело, т. е. его способность совершать работу, может проявляться в разных формах. Из них наиболее известна механическая энергия. Движущееся тело обладает так называемой *кинетической* энергией (от греческого kinein — двигаться). Масса обладает также способностью производить работу благодаря своему положению в пространстве, даже если в данный момент она не движется. Например, камень или вода в резервуаре, если позволить им двигаться под действием силы тяжести, смогут производить работу. Эта "скрытая" способность совершать работу, определяемая положением тела, носит название *потенциальной* энергии.

Кинетическая и потенциальная энергия — это две формы механической энергии, однако есть и другие виды энергии: тепловая, электрическая, химическая. Все они могут превращаться в механическую энергию и наоборот.

Приведем пример превращения механической энергии в химическую. Возьмем цилиндр, в котором находится смесь азота и водорода при высокой температуре (рис. 5-1). В этом случае часть

смеси прореагирует с образованием аммиака:

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3.$$

Надавим на поршень и совершим работу по сжатию газа. В этом случае в реакцию вступят новые порции азота и водорода и образуется еще немного аммиака. Согласно закону сохранения энергии, ее общее количество в системе не увеличивается и не уменьшается, поэтому мы можем заключить, что механическая энергия перешла в химическую. Иными словами, механическая энергия способствовала переходу смеси водорода и азота из более низкого энергетического состояния в более высокое.

И наоборот, химическая энергия может быть превращена в механическую. Если наполнить цилиндр смесью водорода с кислородом и поджечь ее, то смесь газов сгорит с образованием воды:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O.$$

Смесь водорода и кислорода обладает большой энергией, и при сгорании эта энергия высвобождается, вначале в форме тепла. Это приводит к расширению газовой смеси. Если она давит на поршень, то способна произвести работу, например двигать машину. Таким путем химическая энергия может превращаться в механическую.

Понятие равновесия

Понятие энергии тесно связано с представлением о *равновесных состояниях*. Если мы соединим два тела стальной пружиной, отведем их друг от друга, а затем отпустим, то они вновь сблизятся; если же приблизить тела одно к другому и отпустить, они снова разойдутся. В обоих случаях они в конце концов займут одинаковое положение. Соответствующее расстояние между телами будет равновесным. Это такое расстояние, которое со временем само по себе изменяться не будет, но может измениться в случае воздействия внешней силы.

Когда стальная пружина "спонтанно" движется к положению равновесия, она может совершать работу: она обладает так называемой "свободной энергией". Если же система уже пребывает в равновесии, то работы она совершать не может, так как находится на самом низком энергетическом уровне.

Химическое равновесие

Химическое равновесие можно описать сходным образом: это такое состояние смеси реагирующих компонентов, при котором их

относительные количества не изменяются со временем. Возьмем, например, колбу и нальем туда воды, этилового спирта и уксусной кислоты. В такой смеси будет, хотя и медленно, идти реакция между спиртом и кислотой с образованием воды и эфира — этилацетата:

$$\underset{\text{Этиловый спирт}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{Уксусная кислота}}{HOOCCH_3} = \underset{\text{Этилацетат}}{CH_3CH_2OOCCH_3} + \underset{\text{Вода}}{H_2O}\,.$$

Направление реакции — слева направо.

В другую такую же колбу мы нальем воды и этилацетата в количествах, эквивалентных содержанию спирта и кислоты в первой колбе. Теперь реакция пойдет справа налево: этилацетат будет расщепляться с присоединением воды и в результате образуются спирт и кислота.

Будем держать обе колбы при постоянной температуре и периодически определять в них состав смеси (измеряя, например, концентрацию уксусной кислоты, хотя можно выбрать для этого и другой компонент. В результате мы получим график, сходный с представленным на рис. 5-2. Из него видно, что сначала реакция идет быстро, но затем постепенно замедляется и в конце концов состав смеси в обеих колбах становится одинаковым: она содержит определенные количества спирта, кислоты, этилацетата и воды. В дальнейшем концентрации этих веществ уже не меняются: в смеси установилось равновесие. Оно одинаково независимо от того, с чего мы начали опыт — со спирта и кислоты или же с эквивалентного количества этилацетата.

Причина постоянства концентраций при химическом равновесии вовсе не в том, что реакции в колбах прекратились. Нет, этилацетат продолжает распадаться на кислоту и спирт, а спирт и кислота продолжают реагировать, образуя этилацетат. Но в системе, находящейся в равновесии, скорости прямой (слева направо) и обратной (справа налево) реакций одинаковы, так что в целом состав смеси не меняется. Независимо от начального состава смеси это равенство прямого и обратного процессов, т. е. равновесие, всегда будет достигаться "автоматически". Поясним это следующими рассуждениями.

Начнем с реакции, в которой участвуют этилацетат и вода. Молекулы этилацетата с некоторой долей вероятности могут распадаться на этиловый спирт и уксусную кислоту. Соответственно спирт и кислота тоже с некоторой вероятностью способны соединяться, образуя этилацетат. В исходной смеси этилацетата с водой единственно возможной реакцией вначале будет распад этого эфира, так что реакция пойдет справа налево; при этом количество

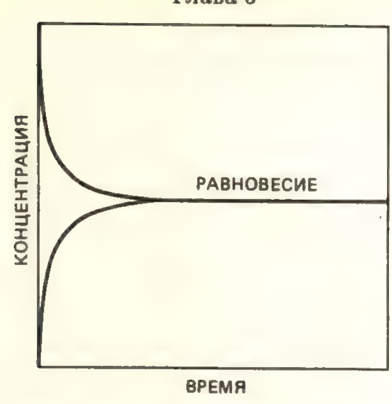


Рис. 5-2. Если мы возьмем систему веществ, реагирующих друг с другом, она будет постепенно приближаться к химическому равновесию, характерному для этой системы. После достижения равновесия концентрация веществ в системе не меняется. При движении химической системы к равновесию она может совершать работу, но это становится невозможным, после того как равновесие достигнуто.

этилацетата начнет постепенно уменьшаться, а кислоты и спирта — увеличиваться. По мере накопления последних двух веществ возрастает скорость образования из них этилацетата. Поскольку скорость одного процесса растет, а другого — падает, в какой-то момент их скорости должны уравняться, и тогда наступает химическое равновесие.

Хотя равенство скоростей прямой и обратной реакций, т. е. равновесие, будет достигнуто независимо от соотношения концентраций в исходной смеси, состав конечной равновесной смеси будет зависеть от начальной концентрации реагентов и от температуры и давления, так как эти факторы влияют на скорости реакций. Если мы начнем с одного лишь этилацетата, без воды, то, поскольку для его расщепления нужна вода, реакция не пойдет и в равновесной "смеси" так и останется один этилацетат. Если количество добавленной воды очень мало, то равновесная смесь будет содержать в основном этилацетат и лишь ничтожные количества этилового спирта и уксусной кислоты.

Работа, производимая химической системой

Когда говорят, что реакции в системе могут только приближать ее к равновесию, это аналогично утверждению, что вода всегда течет под уклон. Из этого, однако, не следует, что вода в принципе не

может течь в гору. Все, что нужно сделать, чтобы добиться этого — это поставить насос. Если наверху водохранилище, то воду из него можно направить в турбину, и она будет вырабатывать электричество. Электроэнергия может вращать мотор и качать воду наверх. Заметим, однако, что хотя часть воды и пойдет в гору, для системы в целом утверждение, что вода течет под уклон, не опровергается. Потенциальная энергия накачиваемой воды (произведение ее массы на высоту подъема) никогда не превышает (а на практике всегда меньше) потенциальной энергии находившейся вверху воды, которая будет проходить через турбину.

Точно так же при "движении" химической системы "под уклон" в ней могут образовываться вещества с большим запасом энергии за счет расщепления других веществ на продукты с малым ее запасом. Некоторые биохимические реакции, идущие "вниз", отдают свою энергию процессам, идущим "вверх". Такие "реакции-насосы" сложны и разнообразны, но всегда соблюдается один принцип: если в системе протекают реакции, доставляющие энергию для других реакций, то все это происходит на фоне общего уменьшения доступной энергии системы. Эффект "насоса" достигается за счет того, что энергия распределяется неравномерно: одни вещества получают ее больше, а другие меньше:

$$R \rightarrow \underset{\text{(высокая энергия)}}{R_1} + \underset{\text{(низкая энергия)}}{R_2} .$$

Таким образом, хотя система в целом идет "под гору", она может совершать химическую работу, синтезируя высокоэнергетические соединения. Главное отличие живого организма от колбы со смесью веществ состоит в том, что в нем могут работать такие "насосы".

Метастабильное состояние

Если в систему не поступают и из нее не выходят ни вещества, ни энергия, то она всегда будет двигаться к состоянию равновесия, к самому низкому энергетическому уровню. Впрочем, можно привести немало примеров, на первый взгляд противоречащих этому. Древесина, сахар, бумага и даже алмаз, представляющий собой чистый углерод, в обычных условиях находятся далеко от равновесия с CO_2 и водой и являются весьма стабильными веществами.

Химические системы действительно всегда движутся к равновесию и никогда — в обратном направлении, но в этом утверждении умалчивается, насколько быстро они это делают. Скорость эта

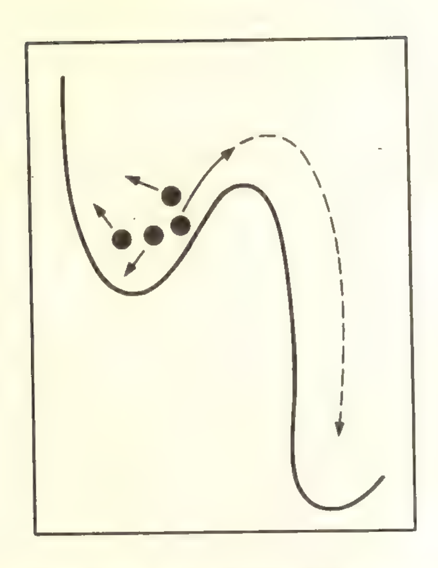


Рис. 5-3. Схема, поясняющая, что такое энергия активации. Движущиеся объекты попадают в "ловушку" — в локальный энергетический минимум. Чтобы упасть еще ниже, им надо перепрыгнуть через барьер. Двигаясь случайным образом, некоторые из них приобретают достаточно энергии, чтобы это сделать (это и будет энергия активации). Чем выше барьер, тем меньше объектов перескакивает через него за единицу времени.

может быть значительной, ничтожной или нулевой. Если система не находится в равновесии, но изменяется очень медленно (или практически остается неизменной), это называют *метастабильным* состоянием. Жизнь возможна лишь благодаря такого рода состоянию и возможностям обходить его.

Аналогия поможет нам понять, что такое метастабильное состояние. Представим себе, что в горах есть ложбины, занятые озерами. Понятно, что вода в них далека от состояния равновесия, она обладает значительной энергией и могла бы производить работу, стекая вниз к морю. Но это возможно только в том случае, если из озера есть сток. Если же стока нет, вода остается в озере.

Для того чтобы течь к морю, вода должна сначала подняться и перелиться через окаймляющий озеро берег. Но для этого необходима добавочная энергия — как говорят, воде нужно преодолеть "энергетический барьер". Точно так же вещество в мета-

стабильном состоянии (сахар, бумага и т. п.) находится в "локальном энергетическом минимуме"; но если вы поднесете к бумаге зажженную спичку, она получит достаточно энергии (благодаря сильному нагреву), чтобы "перепрыгнуть" энергетический барьер и начать гореть (рис. 5-3). Начнется движение к равновесию, в данном случае — образование углекислого газа и воды, в принципе сходное с движением воды через сифон.

Катализ

Есть, однако, возможность преодолевать энергетический барьер для химической реакции даже без повышения температуры. Так, если пропустить смесь кислорода и водорода над черной платиной (это спрессованный тонкий ее порошок), то реакция между ними пойдет довольно быстро и при комнатной температуре:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O.$$

Черная платина способствует протеканию реакции, но сама при этом практически не изменяется.

Вещества, способные увеличивать скорость реакций, но сами при этом не изменяющиеся, называют *катализаторами*. Механизм их действия может быть различным, но в принципе их можно уподобить сифону, по которому вода перетекает через преграду.

Ферменты

Химические компоненты организма сами по себе находятся в метастабильном состоянии и движутся к равновесию очень медленно. Однако у живых существ имеются катализаторы, называемые *ферментами*, которые высокоспецифичны; обычно они способны ускорять лишь одну реакцию или небольшое число сходных реакций. Таким образом, именно ферменты определяют, какие реакции будут идти с повышенной скоростью, а какие нет, и от этого будут зависеть все функции.

Химическая природа ферментов была выяснена американским биохимиком Дж. Б. Самнером в 1926 г. Из соевых бобов он выделил в кристаллической форме фермент уреазу и установил, что это белок. Дальнейшие исследования показали, что все ферменты являются белками. Обратное утверждение не будет верным: хотя подавляющее большинство белков — ферменты, есть множество белков с иными функциями. Примерами могут служить белок кератин — главный компонент волос, весьма распространенный бе-

лок коллаген (из которого делают желатину), присутствующий в коже, костях и сухожилиях, а также шелк. Все они каталитическими функциями не обладают. Их называют "структурными белками".

Недавно было выяснено, что в одном особом случае действовать как ферменты могут и вещества небелковой природы: некоторые рибонуклеиновые кислоты (РНК) способны катализировать изменения в своей собственной структуре.

Белки — это полимеры

Белки образуют подкласс в классе соединений, называемых полимерами. Их длинные молекулы имеют форму цепей, построенных из повторяющихся меньших молекул — мономеров. Чтобы мономеры были способны образовать полимерную молекулу, они должны обладать как минимум двумя реакционноспособными группами, одна из которых могла бы образовать химическую связь со вторым мономером, а другая — с третьим. Если мономеров много, они могут образовать длинную цепь полимерной молекулы. Примером такого полимера может быть найлон (рис. 5-4).

Белок сходен с найлоном в том, что и тот и другой представляют собой цепочку мономеров, но между ними есть одна существенная разница. Молекулы найлона построены всего лишь из двух чередующихся видов мономеров, и хотя длина таких цепей может несколько различаться, в общем молекулы однотипны. Белок же построен из двадцати разных видов мономеров — аминокислот, и в зависимости от порядка их следования может быть множество различных белков.

Рис. 5-4. Образование полимеров. Найлон (*вверху*) построен из мономеров двух типов. У каждого из них есть по две одинаковые реакционноспособные группы A или B, а взаимодействовать между собой могут только разные группы (A с B). Поэтому в полимере образуется чередующаяся последовательность тех и других мономеров. У аминокислот (*внизу*) в каждой молекуле две разные реакционноспособные группы, -COOH и -NH_2, поэтому последовательность аминокислот в полимере (белке) может быть любой. Одна аминокислота отличается от другой по строению группы R.

Общая формула аминокислот, образующих белок, такова:

$$H_2N-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle R_i}{C}}-COOH$$

Видно, что к α-углеродному атому присоединены четыре разные группировки. Три из них — атом водорода, щелочная аминогруппа и кислая карбоксильная группа — у всех аминокислот одинаковы. Различаются они по строению группы R_1. В простейшем случае — в молекуле глицина эта группа представлена атомом H. У аланина здесь CH_3, у фенилаланина — бензольное кольцо и т. д. (рис. 5-5).

Соединение двух аминокислот происходит в результате реакции, в чем-то сходной с реакцией образования этилацетата:

$$H_2-N-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle R_i}{C}}-COOH + H_2-N-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle R_i}{C}}-COOH \longrightarrow$$

$$\longrightarrow H_2-N-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle R_i}{C}}-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-N-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle R_i}{C}}-COOH + H_2O$$

Связь между щелочной аминогруппой NH_1- и кислой карбоксильной группой -COOH называется *пептидной*. Соединяясь таким способом — "головой к хвосту", — аминокислоты могут образовывать пептидные цепи длиной более тысячи мономеров. "Осевая" цепь будет у всех белков одинаковой, но последовательность отходящих от нее боковых групп (R_1) в каждом белке своя.

Важно, что у всех организмов, будь то растения, животные, бактерии или вирусы, белки построены из одних и тех же аминокислот. Поэтому любой организм, поедающий другое живое суще-

---

Рис. 5-5. Двадцать различных аминокислот, встречающихся в белках. За исключением пролина, все аминокислоты имеют в основе своей одинаковую структуру, $H-\underset{\displaystyle NH_2}{\overset{\displaystyle R}{C}}-COOH$ и отличаются друг от друга только строением группы R.

ГЛИЦИН АЛАНИН ВАЛИН ЛЕЙЦИН

ИЗОЛЕЙЦИН МЕТИОНИН СЕРИН ТРЕОНИН

ЦИСТЕИН ПРОЛИН АСПАРАГИНОВАЯ КИСЛОТА ГЛУТАМИНОВАЯ КИСЛОТА

ФЕНИЛАЛАНИН ТИРОЗИН ГИСТИДИН ТРИПТОФАН

ЛИЗИН АРГИНИН АСПАРАГИН ГЛУТАМИН

ство, получает с пищей те же аминокислоты, из которых состоят его собственные белки. Это сильно облегчает круговорот веществ в системах живых организмов.

Последовательность аминокислот

Если просто сказать, что белки — это полимеры, построенные из 20 разных аминокислот, мы упустим из виду один важный момент. Для химика не составляет труда взять раствор аминокислот, создать необходимые условия и заставить аминокислоты образовать пептидные связи, получив в результате длинные молекулярные цепочки. Однако в таких цепочках расположение аминокислот будет случайным и каждая из образовавшихся молекул будет отличаться от всех других. Между тем в каждом из природных белков порядок расположения отдельных видов аминокислот всегда один и тот же. Из этого очевидно, что живая система, синтезируя белок, использует информацию о том, какая последовательность аминокислот должна быть у этого белка. При химическом синтезе такой важнейшей информации нет.

Если представить каждый вид аминокислот буквой, то их последовательности в одной из цепей инсулина коровы и человека можно записать так:

Человек: g=i=v=e=q=c=c=t=s=i=c=s=l=y=q...

Корова: g=i=v=e=q=c=c=a=s=v=c=s=l=y=q...

В обоих случаях последовательность аминокислот строго постоянна, и каждая молекула инсулина коровы или человека идентична всем остальным. Именно эта последовательность определяет, что это за белок.

Трехмерная структура белков

Если оставить в стороне детали, то самое важное то, что аминокислотная последовательность белка определяет его пространственную трехмерную структуру.

Большинство белков действует как катализаторы, и это связано с существованием у них так называемых *активных центров* — углублений, по своей конфигурации соответствующих *субстратам*, т. е. молекулам, превращение которых катализируется данным белком (рис. 5-6, *А*). Молекулы, хотя бы незначительно отличающиеся от субстратов, к этим углублениям "не подходят", и

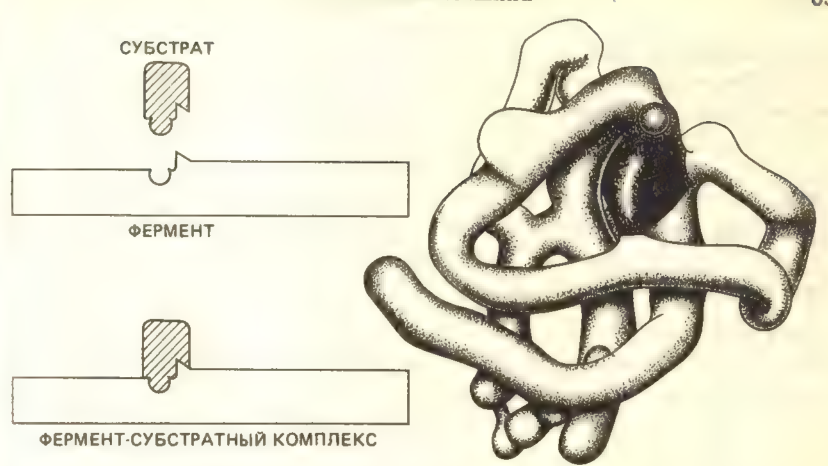


Рис. 5-6. Схема специфических взаимодействий между белком и другими молекулами. Две молекулы могут взаимодействовать только в том случае, если подходят друг к другу "как ключ к замку". Это обеспечивает специфичность действия ферментов, антител и т. п. Место связывания субстрата ферментом называется активным центром. Обычно он образуется в результате сближения отдаленных частей белковой цепи. Справа показана молекула миоглобина — белка, который содержится в мышцах. Он способен связывать гем (показан черным) — железосодержащую группу, способную в свою очередь присоединять кислород. Белковая цепь миоглобина свернута таким образом, что несколько отдаленных участков ее цепи оказываются сближенными в пространстве и формируют центр для связывания гема. Замены аминокислот в цепи, происходящие даже вне этого центра, могут повлиять на структуру всей молекулы и изменить конфигурацию центра.

фермент не может катализировать реакцию. Белки могут действовать как специфические катализаторы только при точном соответствии между активным центром и субстратом.

Активный центр образуется из нескольких участков белковой цепи, иногда весьма удаленных друг от друга, которые при ее сворачивании оказываются сближенными (рис. 5-6, *Б*). Изменения в одной части цепи могут оказывать влияние на пространственную структуру других частей. Поэтому замена одной аминокислоты другой даже на некотором расстоянии от активного центра может либо влиять на специфичность фермента, либо полностью разрушить активный центр. Такой способ создания и видоизменения активных центров очень гибок, и путем использования различных аминокислотных последовательностей можно получать самые раз-

нообразные активные центры. В этом одна из причин того, что в роли биологических катализаторов выступают именно белки, а не какие-либо другие вещества.

От набора ферментов, т. е. катализаторов, зависит, какие именно реакции будут протекать. В следующей главе мы вкратце опишем, каким образом этот набор в свою очередь определяется генетической информацией, закодированной в "веществе наследственности" — дезоксирибонуклеиновой кислоте (ДНК). Именно эта информация и определяет в конечном счете свойства организма.

Глава 6

Генетическая информация

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Для построения всех белков организма необходима точная информация о расположении нескольких миллионов аминокислот в их молекулах. Она содержится в генетическом материале — *дезоксирибонуклеиновой кислоте*, или *ДНК*. Это линейный полимер, построенный из нуклеотидов четырех типов. Последовательность аминокислот каждого белка закодирована в ДНК последовательностью нуклеотидных триплетов (троек), называемых *кодонами* и определяющих типы аминокислот в белке. Этот код одинаков у всех организмов, что указывает на единство происхождения всего живого.

Способ пространственной укладки белковой цепи всецело зависит от ее аминокислотной последовательности; таким образом, линейная (одномерная) последовательность нуклеотидов в ДНК опосредованно определяет трехмерную структуру белков.

О сложности организма можно приближенно судить по числу пар нуклеотидов, образующих его ДНК. У самых простых организмов — бактерий — их около двух миллионов; это близко к минимальному уровню сложности самореплицирующейся системы. У высших многоклеточных организмов количество ДНК на одну клетку по крайней мере в тысячу раз больше.

Чем ближе родство между организмами, тем более сходны последовательности их ДНК; даже у растений, животных и бактерий можно обнаружить их частичное сходство. Это говорит о том, что все живые организмы генетически родственны и происходят от общего предка.

В живой химической машине в роли ее рабочих частей выступают белки, большая часть которых — катализаторы, или ферменты. Для создания этих белков необходимо точно разместить в их молекулах миллионы аминокислотных остатков. Информа-

ция об этом размещении содержится в генетическом материале — дезоксирибонуклеиновой кислоте (ДНК).

Динамическое состояние белков

Можно было бы подумать, что если белки уже созданы, то генетическая информация больше не нужна. Действительно, организм, содержащий в данный момент полный набор белков, безусловно, жизнеспособен. И тем не менее, если организм утратит такую информацию, он будет жить очень недолго.

Лишить организм генетической информации можно, облучив его большой дозой рентгеновских лучей, которые разрушают ее носителей — нуклеиновые кислоты. Сразу после облучения никаких видимых изменений не происходит, но спустя короткое время организм погибает. Все дело в том, что большинство компонентов живого находится в динамическом состоянии, т. е. непрерывно обновляется. Белки все время распадаются, и их все время необходимо замещать вновь синтезированными молекулами, а для этого нужна генетическая информация. Когда она отсутствует, такая замена белков невозможна, и поэтому организм, облученный рентгеном, погибает.

Открытие ДНК

Уже давно было известно, что в клетках есть особый участок, который выявляется при их специальном окрашивании, — *клеточное ядро*. Были основания предполагать, что оно играет важную роль в делении клеток. В связи с этим швейцарский биохимик Мишер (1845–1895) выделил ядра из клеток гноя, а из них в конце 60-х годов получил неизвестное ранее фосфорсодержащее вещество, которое он назвал нуклеиновой кислотой. Результаты его исследований были опубликованы в 1871 г. Открытие казалось столь неожиданным, что Хоппе-Зейлер, редактор журнала, задержал публикацию до тех пор, пока сам не повторил с успехом эту работу.

Еще в 1890 г. некоторые ученые высказали гипотезу о том, что ДНК может быть веществом наследственности, однако первые веские данные в пользу этого были получены только в 1928 г. Ф. Гриффит, английский ученый, показал, что можно изменять свойства бактерий, помещая их на короткое время в среду, содер-

жащую некий “трансформирующий фактор”. Вскоре выяснилось, что это была чужеродная ДНК.

Как известно, существует несколько разновидностей (штаммов) бактерий-пневмококков, вызывающих пневмонию. Клетки тех штаммов, которые могут вызывать болезнь, окружены оболочкой (капсулой) из полисахарида (полимерного сахара), ограждающей их от воздействия защитных сил организма. Это так называемые “гладкие” штаммы (S), называемые так по виду колоний, которые они образуют при росте на агаре. У других штаммов полисахаридной капсулы нет, и они не способны вызывать болезнь. Это “шероховатые” штаммы (R).

Гриффит обнаружил, что среда, в которой выращивался штамм S, содержит какой-то “трансформирующий фактор”. Когда эту среду добавляли к культуре штамма R, часть его клеток превращалась в клетки типа S. Это изменение передавалось по наследству: потомство трансформированных бактерий тоже обладало свойствами клеток S. В дальнейшем Р. Эйвери из Рокфеллеровского института показал, что трансформирующий фактор представляет собой ДНК.

Итак, *ДНК из штамма S, добавленная к штамму R, превращает штамм R в штамм S*.

К тому времени химический состав ДНК был уже известен, но еще оставалось выяснить, каково пространственное расположение атомов, образующих ее молекулы. Дж. Д. Уотсон и Ф. Крик попытались узнать это путем изучения картин, получаемых при дифракции рентгеновских лучей на препаратах ДНК. Этот метод позволяет определять положение атомов в молекулах, хотя это и нелегкая задача, если молекула очень велика. Так или иначе им это удалось, и в 1953 г. они опубликовали свою знаменитую короткую статью в научном журнале “Nature”, где описали спиральную структуру молекул ДНК. Описание включало гипотезу о том, каким образом ДНК могла бы воспроизводить самое себя.

Уотсон и Крик в существенной мере использовали данные и выводы специалиста в области рентгеноструктурного анализа Розалинды Фрэнклин, которая работала в то время в лаборатории Уилкинза в Лондоне и сама была очень близка к расшифровке структуры ДНК. Помощь ее была, однако, недобровольной: Уилкинз познакомил Уотсона и Крика с полученными ею результатами без ее ведома и согласия. Ссылок на ее работу ни в упомянутой статье, ни в последующих публикациях Уотсона и Крика не было. Когда эта некрасивая история выплыла на свет, это произвело нехорошее впечатление, и не только на феминисток.

Тимин

Б

Аденин

Аденин

Тимин

Цитозин

Гуанин

Дезоксирибоза

А

Фосфатная группа

Цитозин

Гуанин

В

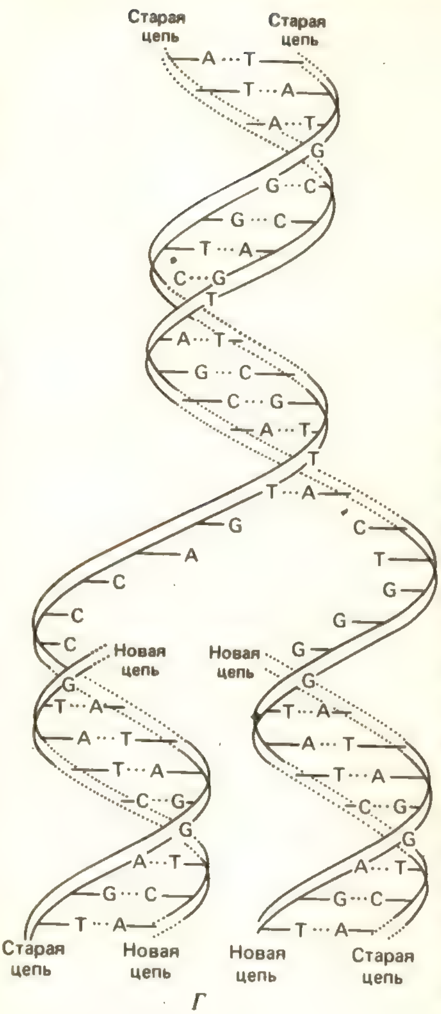
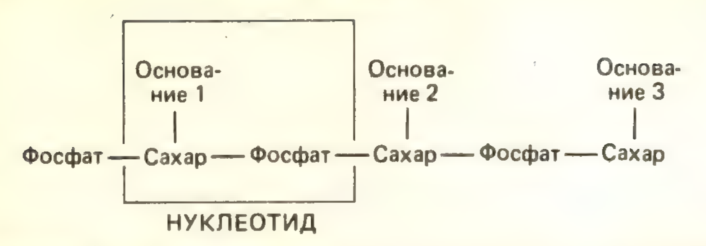


Рис. 6-1. *А*. Одиночная цепь молекулы ДНК образована из комплексов основания с сахаром, соединенных между собой фосфатными группами. *Г*. Две цепи закручены одна вокруг другой и образуют двойную спираль ДНК. Они соединены между собой водородными связями между комплементарными основаниями — аденином и тимином (A-T) и гуанином и цитозином (G-C). *Б* и *В*. Здесь пунктиром показаны водородные связи; они образуются только тогда, когда основания "хорошо подходят" друг к другу, поэтому в двойной спирали против каждого T одной цепи всегда стоит A, а против C — G. Поэтому и цепи в целом комплементарны друг другу. При раскручивании цепей (*Г, внизу*) на каждой из них может быть построена новая комплементарная цепь. В результате происходит удвоение молекулы.

Строение ДНК

Так же как и белки, ДНК является линейным полимером (рис. 6-1), но построенным из мономеров иного типа. Осевую цепь молекулы образуют чередующиеся остатки фосфорной кислоты и несколько необычного пятиуглеродного сахара. К каждому остатку сахара присоединено довольно сложное азотистое основание, и структура целиком выглядит так:



Комплекс, содержащий сахар, фосфорную кислоту (фосфат) и основание, называется *нуклеотидом* (на схеме он обведен пунктиром). Нуклеотиды — это те мономеры, которые используются при синтезе нуклеиновых кислот, последовательно присоединяясь к цепи.

В составе ДНК встречаются четыре разных азотистых основания: аденин (А), тимин (Т), гуанин (G) и цитозин (С). Их структурные формулы приведены на рис. 6-1, *Б* и *В*. В дальнейшем изложении мы будем использовать их буквенные обозначения.

Уотсон и Крик показали, что молекула ДНК состоит из двух цепей, спирально закрученных одна вокруг другой (рис. 6-1, *Г*). Эти две цепи соединены по принципу *комплементарности* (взаимодополнительности): если в одной из них где-то находится А (большее по размерам основание), то против него в другой цепи всегда стоит Т (меньшее основание); а против большего основания G всегда стоит меньшее С. Это попарное соответствие А-Т и С-G носит название "правила комплементарности". Таким образом, две спиральные цепи, выпрямленные для удобства их изображения, могут обладать, например, такой структурой:

–A – G – G – A – T – C – A – G – T – T–

–T – C – C – T – A – G – T – C – A – A–

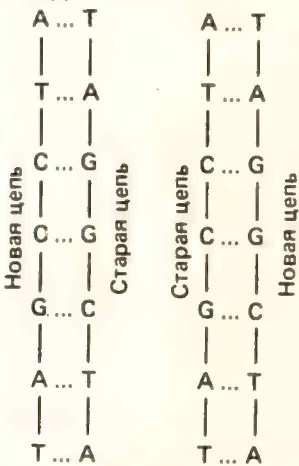
Если известна последовательность нуклеотидов в одной цепи, то, основываясь на правиле комплементарности, можно написать и последовательность их в противолежащей цепи, которая, таким образом, не содержит никакой дополнительной информации.

Специфическое спаривание оснований А с Т и G с С возможно благодаря образованию между ними водородных связей (рис. 6-1, *Б* и *В*) — тех же самых, которые тесно объединяют молекулы воды и определяют тем самым многие из ее необычных свойств. Одиночная водородная связь довольно слаба, но поскольку в двухцепочечной молекуле ДНК образуются тысячи или даже миллионы таких связей, две цепи оказываются весьма прочно связанными друг с другом.

Репликация (самоудвоение) ДНК

Хотя во второй цепи ДНК и не содержится никакой дополнительной информации, комплементарность оснований в двух цепях создает основу для весьма элегантного способа самоудвоения двухцепочечной молекулы ДНК.

В начале этого процесса две противолежащие цепи начинают раскручиваться и отделяться одна от другой (рис. 6-1, *Г*). В точке расплетания фермент начинает пристраивать новые цепи к двум старым по принципу комплементарности: в новой цепи он ставит Т против А в старой, и т. д.:



В результате образуются две одинаковые двойные спирали, каждая из которых идентична исходной молекуле.

Кодирование белков в структуре ДНК

Последовательность аминокислот в белке закодирована в последовательности нуклеотидов ДНК. Каждый триплет, или кодон, определяет положение одной аминокислоты: три рядом стоящих основания в ДНК соответствуют одной аминокислоте, следующие три — еще одной, и так далее. Если представить аминокислоты буквой "а", а основания — "о", то это будет выглядеть так:

Белок: a_1 — a_2 — a_3 — a_4
ДНК: ооо. ооо. ооо. ооо

"Знаков препинания" между кодонами нет, и точки мы поставили только для того, чтобы ясно отделить один кодон от другого.

"Перевод" кода ДНК в структуру белка начинается со "стартового сигнала" — особой последовательности нуклеотидов, и далее каждые три нуклеотида отсчитываются как один кодон[1].

Таким образом, ДНК можно представить как последовательность букв (нуклеотидов), образующих текст из тысяч и даже миллионов знаков (например, ACATTGGAGTCA...), который указывает последовательность аминокислот в белках. В этом "тексте" и содержится генетическая информация, определяющая специфику каждого организма. Таким образом, и розу, и дельфина, и человека в принципе можно закодировать длинным рядом букв.

Генетический код

Этот код можно представить в виде таблицы, в которой показано, какие кодоны определяют включение в белок той или иной аминокислоты (табл. 6-1).

Поскольку всего возможны $4 \times 4 \times 4 = 64$ кодона, а в белки входят только 20 аминокислот, такое число как будто бы излишне. Однако излишек не отбрасывается — просто большинство аминокислот кодируется несколькими кодонами. Так, кодоны GGG, GGA, GGC и GGT все кодируют аминокислоту глицин. Такой код называют "вырожденным" (термин, заимствованный у физиков); это означает, что несколько разных триплетов имеют один и тот же смысл, т. е. являются синонимами.

Три кодона не соответствуют ни одной аминокислоте, и их называют "нонсенс-кодонами". Но они не лишены смысла: когда считывание доходит до одного из них, это означает конец аминокислотной последовательности (поэтому их называют также "стоп-кодонами").

Расположение нуклеотидов в кодонах не совсем случайное. Так, обычно первые два основания кодонов, определяющих какую-нибудь аминокислоту, одинаковы, а третье может быть в разных кодонах разным. Вырожденность несколько уменьшает вероятность ошибок при считывании кода и синтезе белка. Например, если GGG мутирует в GGA или неверно считывается как GGA, то он все равно будет означать глицин.

Генетический код всего живого, будь то растение, животное или бактерия, одинаков: например, GGU у всех организмов кодирует аминокислоту глицин. Это, как и сходство аминокислотного со-

---

[1] Из этого ясно, что отсчет по три должен быть очень точным: одна ошибка привела бы к неверной разбивке на кодоны всего последующего "текста". — *Прим. ред.*

Таблица 6-1. Значения кодонов информационной РНК (их соответствие аминокислотам)

UUU Фенилаланин	UCU Серин	UGU Цистеин	UAU Тирозин
UUC "	UCC "	UGC "	UAC "
UUA Лейцин	UCA "	UGA *Стоп-кодон*	UAA *Стоп-кодон*
UUG "	UCG "	UGG Триптофан	UAG *Стоп-кодон*
CUU "	CCU Пролин	CGU Аргинин	CAU Гистидин
CUC "	CCC "	CGC "	CAC "
CUA "	CCA "	CGA "	CAA Глутамин
CUG "	CCG "	CGG "	CAG "
AUU Изолейцин	ACU Треонин	AGU "	AAU Аспарагин
AUC "	ACC "	AGC "	AAC "
AUA "	ACA "	AGA "	AAA Лизин
AUG Метионин	ACG "	AGG "	AAG "
GUU Валин	GCU Аланин	GGU "	GAU Аспараги-
GUC "	GCC "	GGC "	GAC новая к-та
GUA "	GCA "	GGA "	GAA Глутами-
GUG "	GCG "	GGG "	GAG новая к-та

става всех белков, убедительно свидетельствует о биохимическом единстве жизни. По-видимому, это единство отражает происхождение всех живых существ от общего предка.

Информационная РНК

Хотя ДНК и несет в своей структуре информацию об аминокислотных последовательностях белков, прямого участия в их синтезе она не принимает. Для этой цели вначале по правилу комплементарности копируется одна из цепей молекулы ДНК, причем образуется несколько отличная одноцепочечная нуклеиновая кислота, — так называемая ***матричная***, или ***информационная***, РНК (мРНК). В этом процессе много общего с репликацией ДНК. Цепь РНК строится против одной из цепей ДНК — по тому же правилу комплементарности, однако в этом случае вместо тимина включается несколько иное основание — урацил (U), которое тоже комплементарно аденину. Взаимоотношения между ДНК и РНК схематически можно представить так:

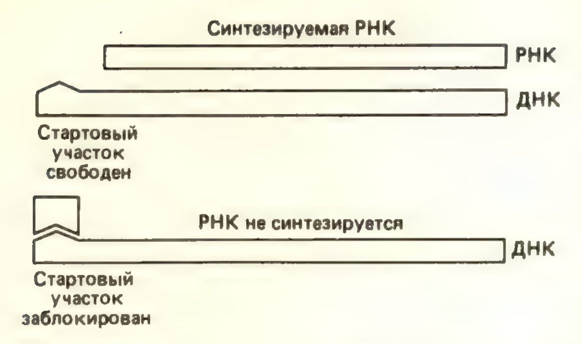


Рис. 6-2. Подавление транскрипции. Комплементарная мРНК синтезируется на ДНК ферментом, который начинает свою работу с особой "стартовой" последовательности нуклеотидов. Если к этой стартовой последовательности присоединится молекула, обладающая к ней специфическим сродством, транскрипция этого участка ДНК в РНК становится невозможной.

ДНК:	антисмысловая цепь	AGCGGTACCAATGC
	смысловая цепь	TCGCCATGGTTACG
РНК-копия		UCGCCAUGGUUACG

Такой процесс копирования называют *транскрипцией*. Образующиеся молекулы РНК относительно невелики по размерам и представляют собой копии отдельных участков ДНК, а не всей ее молекулы.

Для того, чтобы в клетке мог синтезироваться тот или иной белок, необходима сначала транскрипция соответствующего участка ДНК. Существуют особые белки, которые связываются с определенными короткими участками ДНК и таким образом запускают или останавливают процесс транскрипции в непосредственной близости от места связывания (рис. 6-2).

В отличие от ДНК, все время сохраняющейся в клетке, информационные РНК довольно быстро распадаются. Время их полужизни (то время, за которое разрушается половина имеющихся молекул) варьирует от нескольких минут у бактерий до нескольких часов или в лучшем случае дней у высших животных. На первый взгляд это расточительство, но на самом деле это не так. Если бы молекулы информационной РНК были столь же стабильны, как ДНК, то клетка, однажды синтезировав их, уже не могла бы управлять синтезом соответствующих белков. Если же время полужизни мРНК невелико, то, прекратив ее образование, клетка

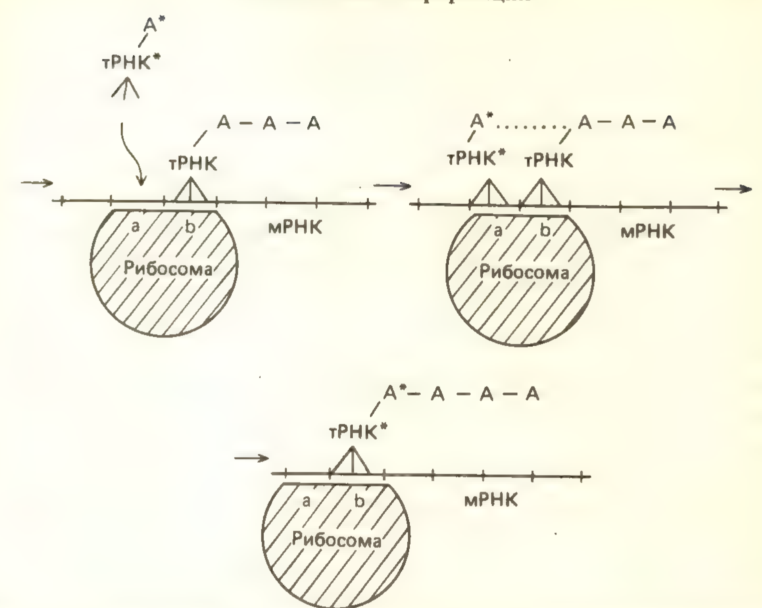


Рис. 6-3. Синтез белка. Информационная РНК (мРНК) прикрепляется к рибосоме, в которой есть два специальных участка *a* и *b*. На рисунке участок *b* уже занят. Комплекс, состоящий из аминокислоты и тРНК*, случайно приближается к участку *a*. Если антикодон этой тРНК* комплементарен кодону, находящемуся в *a*, то происходит связывание этого комплекса. Аминокислота A* переносится на конец растущей белковой цепи, связанной с тРНК в участке *b*. Затем молекула мРНК сдвигается на один шаг вперед, перемещая тРНК* и свободный конец белковой цепи в участок *b*. В участке *a* оказывается новый кодон, и весь цикл повторяется.

может остановить синтез определенных белков, когда он больше не нужен.

Синтез белка

Образовавшись в клеточном ядре, где находится ДНК, молекулы информационной РНК диффундируют в цитоплазму и присоединяются там к небольшим частицам, называемым *рибосомами*. Рибосомы состоят из особых РНК и белков, и их можно рассматривать как гигантские ферментные молекулы, синтезирующие белки.

Цепь информационной РНК, подобно перфоленте, протаскивается через определенный участок рибосомы (рис. 6-3). В месте контакта "ленты" с рибосомой один за другим оказываются по-

следовательные кодоны (триплеты нуклеотидов). Если аминокислота, соответствующая данному кодону, случайно приближается к этому месту, то она присоединяется к растущей белковой цепи, тогда как все другие аминокислоты отвергаются. Затем "лента" сдвигается на один шаг в три нуклеотида, и цикл повторяется. Таким образом, аминокислоты присоединяются по одной, постепенно удлиняя белковую цепь. У кролика (и, вероятно, у человека) белковая молекула синтезируется за несколько минут, а у бактерий, где все идет быстрее, синтез занимает считанные секунды.

"Адапторы"

Аминокислоты не могут прямо связываться с кодонами, так как не способны взаимодействовать с РНК. Поэтому вначале они реагируют с "переносчиками", или "адапторами" — небольшими так называемыми *транспортными* РНК (тРНК). Аминокислота прикрепляется к одному из концов тРНК, а в другом участке тРНК имеется триплет нуклеотидов, позволяющий ей связываться с кодоном мРНК на рибосоме. Этот участок носит название *антикодона*, и его три нуклеотида комплементарны нуклеотидам кодона. Так, аминокислота глицин кодируется триплетом GGA, а антикодон соответствующего адаптора имеет последовательность CCU, способную взаимодействовать с кодоном GGA в мРНК таким же способом, как взаимодействуют друг с другом комплементарные цепи ДНК. Существует 20 ферментов, которые присоединяют аминокислоты к соответствующим адаптерам (тРНК):

Аминокислота	Глицин
	"Адаптор" — тРНК
Антикодон	CCU
	|||
Кодон	... GGA ...
	мРНК

Предопределение трехмерной структуры белка одномерной последовательностью аминокислот

Последовательность аминокислот белка, закодированная в линейной последовательности нуклеотидов ДНК, в свою очередь определяет трехмерную структуру белка. Этот кажущийся очень простым принцип кодирования трехмерной структуры одномерной

структурой на самом деле весьма необычен: не исключено, что он возможен только в системе нуклеиновая кислота — белок.

Сложность организма

Как указывал фон Нейман, самореплицирующаяся система должна быть достаточно сложной. Сложность организма можно оценить по количеству нуклеотидов в его ДНК. У бактерий их обычно около двух миллионов. Если посчитать, что в среднем белковая цепь построена из 200 аминокислот, мы увидим, что бактериальная ДНК может обеспечить синтез примерно 3500 различных белков. Значит, это число (или, возможно, несколько меньшее) достаточно для создания самореплицирующейся системы, способной строить свои компоненты из простых веществ и извлекать энергию из окружающей среды.

Вирусы

Бактерии — вероятно, простейшие организмы, способные к независимому существованию. Правда, вирусы еще мельче и в них гораздо меньше ДНК, но сами по себе они существовать не могут: это облигатные паразиты, которые полностью зависят от своих хозяев, так как метаболический аппарат вируса лишен многих важнейших ферментных систем. Вирусы не способны осуществлять дыхание, брожение и синтез "строительных блоков" для создания крупных молекул. Поэтому в отличие от бактерий они не растут на питательных средах и размножаются только в живых клетках. Вне клеток они биохимически инертны. Многие вирусы можно даже получать в кристаллической форме.

Любой вирус представляет собой нуклеиновую кислоту (ДНК или РНК), покрытую белковой оболочкой. Он способен заставить белок-синтезирующую систему клетки-хозяина вырабатывать все белки, нужные для его воспроизводства. Именно поэтому так трудно найти "антибиотики" для лечения вирусных болезней. Дело в том, что белок-синтезирующий аппарат — это необходимая часть клетки, и почти все, что подавляет выработку им вирусных белков, нарушает также и жизнедеятельность клеток.

Сегодня многие полагают, что вирусы — это фрагменты нуклеиновой кислоты какой-либо клетки, которые приобрели способность реплицироваться и переходить из одной клетки в другую. Это означает, что новые вирусы и новые болезни, ими вызываемые, возникают постоянно.

ДНК высших организмов

Содержание ДНК в клетках высших организмов может в тысячу и более раз превышать ее количество у бактерий. Число пар нуклеотидов в ДНК бактерий и некоторых других организмов (в миллиардах) приведено ниже:

Бактерии	0,002	Двоякодышащая рыба	111,7
Млекопитающие	3,2	Осьминог	4,4
Птицы	1,2	Сверчок	5,7
Лягушка	6,2		

Утверждение, что в клетках животных содержится больше ДНК, чем у бактерий, безусловно, верно, но нужно сделать одну оговорку. Дело в том, что у бактерий практически вся ДНК кодирует белки и в то или иное время транскрибируется. У высших же организмов существенная часть ДНК "молчит": она построена из повторяющихся нуклеотидных последовательностей, которые многие генетики считают ненужным "мусором", не кодирующим никаких белков. Кроме того, у амфибий (например, у лягушки) и особенно у двоякодышащих рыб почти вся ДНК, как молчащая, так и кодирующая, представлена множеством копий. Поскольку такие многократные повторы не увеличивают количество хранимой в ДНК информации, это не позволяет оценивать сложность организма просто по числу пар нуклеотидов в его ДНК.

Родственные отношения живых организмов

У различных видов можно определять последовательности аминокислот в белках и нуклеотидов в ДНК. Чем ближе родство между видами, тем более схожи эти последовательности, но даже у столь далеких друг от друга форм, как растения, животные и бактерии, можно обнаружить сходные участки. Поскольку вероятность случайного появления таких сходств исчезающе мала, это говорит о генетическом родстве всех организмов и происхождении их от общего предка.

Определив последовательности ДНК и белков у двух видов, можно оценить, насколько они близки, и выразить это цифрами, например числом пар нуклеотидов, по которым эти виды различаются между собой. Чем более сходны их ДНК и соответствующие белки, тем теснее родство между организмами. Поскольку случайное совпадение последовательностей вряд ли возможно, такие сравнения позволяют весьма убедительно доказать реальность

процесса биологической эволюции без привлечения косвенных свидетельств, которые так долго собирали Дарвин и другие ученые.

Вот один лишь пример. Известно, что одна из цепей гемоглобина построена приблизительно из 150 аминокислот. Сравнив гемоглобины человека и шимпанзе, мы находим, что все позиции в них заняты одинаковыми аминокислотами, причем обе молекулы отличаются от гемоглобина гориллы лишь в одном месте. Ясно, что эти три вида близко родственны между собой. Если же мы сравним гемоглобин человека с гемоглобином собаки, то обнаружим уже 16% замен, с гемоглобином карпа — 50% замен, а с гемоглобином корневых клубеньков бобовых — 84%. Степень родства, определенная таким образом, сходна с оценками, основанными на морфологических данных.

Дальнейшие исследования такого рода говорят о том, что бактерии, соя, дрожжи, свинья, человек и множество других видов состоят друг с другом в родстве. Если мы учтем также идентичность их генетического кода, сходство "строительных блоков" всего живого и принципиальное единство биохимических систем, лежащих в основе жизни, то мы получим убедительное свидетельство того, что все живое имеет *монофилетическое* происхождение, т. е. произошло из одного корня.

Глава 7

Научный метод: факты, теории и гипотезы

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Химия дает нам удобную возможность понять, что такое научный метод. Одно из фундаментальных положений химии — существование атомов — было выведено из определенных эмпирических наблюдений. Как же делаются такие выводы и как они соотносятся с "реальностью"?

Гипотеза для объяснения какой-то группы фактов создается творческим воображением: она не может быть построена с помощью механической процедуры, например компьютерной программы. Наблюдение, согласно которому элементы взаимодействуют друг с другом в определенных весовых отношениях, легко объяснить тем, что материя состоит из неделимых частиц — атомов. Эта гипотеза согласуется со всеми известными фактами. По мере накопления новых фактов выяснилось, что и они все без исключения с ней согласуются, и поэтому сегодня она общепризнана.

У ученых особым доверием будет пользоваться гипотеза, которая не только объясняет уже известные факты, но и позволяет прогнозировать новые, в особенности неожиданные. Далее, чтобы гипотезу можно было признать "научной", она должна быть проверяемой, т. е. в принципе опровержимой. Если с нею согласуется любой набор фактов, то такая гипотеза бессодержательна. Новая гипотеза не должна также противоречить старым, считающимся хорошо обоснованными.

Тем не менее каждая гипотеза "верна" только в определенных пределах. Во-первых, данной группе фактов может соответствовать несколько гипотез. Во-вторых, мы никогда не можем быть уверены, что нам уже известны все факты, имеющие отношение к делу. Когда накапливаются новые знания, даже в хорошо обоснованную гипотезу приходится иногда вносить поправки. Но старая гипотеза "разрушается" только в ограниченном смысле этого слова, так как на самом деле она включается в новую, и эта новая гипотеза должна объяснять также и факты, которые охватывала старая гипотеза. Гипотезы, предлагаемые любителями и чудаками, часто не отвечают этому требованию.

Большинство научных гипотез называют теориями, но в обычном языке "теория" (например, "теория эволюции") — это обычно нечто вызывающее сомнения, просто по смыслу термина. В науке он используется несколько иначе. Конечно, все теории не абсолютно достоверны. Наиболее сомнительные из них поэтому называют "гипотезами", но и этот термин тоже не слишком точен.

Научный метод — это просто более разработанная и систематизированная форма того процесса, с помощью которого мы приходим к каким-то представлениям и в повседневной жизни. Новорожденный не знает, что такое "предмет", "трехмерное пространство", скорость, причинность, число и т. п.; эти понятия формируются у ребенка лишь по мере упорядочения его чувственного опыта. "Реальный мир" — тоже своего рода теория или конструкция, во многом сходная с научными теориями.

Ряд самых общих положений химии дает нам возможность понять, что такое научный метод. Химик уверенно говорит об атомах и о том, как они расположены в пространстве. Но если мы не можем увидеть атомы, то какой резон доверять его словам?

Краеугольным камнем представлений химика является положение о том, что материальные тела построены из 92 естественных элементов. Фалес Милетский (около 630 г. до н. э.) в свое время полагал, что материя состоит из одного или очень немногих первичных субстанций. В основе всего лежит вода, считал он, подобно тому как сегодня мы говорим, что все построено из кварков или чего-то похожего. Позже всеобщее признание получила теория, согласно которой все вокруг нас построено из четырех элементов: воды, земли, воздуха и огня, которые могут существовать в разных формах как сами по себе, так и в смесях. Одной из форм элемента "земля" было золото, и многие из ранних химиков (которых мы теперь называем алхимиками) потратили массу времени и усилий на то, чтобы заставить "землю" превратиться в желтый металл.

Хотя это им не удалось, они добились многого. Так, они изобрели перегонку[1)], научились получать многие вещества, например

[1)]Считается, что перегонку изобрела еврейка Мария, весьма образованная дама, которая жила в Александрии во II веке нашей эры. Говорят, она впервые использовала и водяную баню, которую и сейчас применяют химики. Французы до сих пор называют это приспособление "bain-marie".

Люди античных времен, бедняги, имели возможность пить только вино и пиво крепостью не более 14°: при такой концентрации спирта дрожжи прекращают брожение и погибают.

Крепкие напитки, подобные ви́ски, появились много позже, в средние века, хотя Мария изобрела перегонку задолго до того.

окислы металлов, соли и кислоты. Без их работы дальнейший прогресс был бы невозможен. Развитие современной химии началось лишь в XVIII веке, когда химики стали использовать весы. Вскоре они установили, что при химических реакциях вес взаимодействующих веществ не меняется. Например, когда в замкнутой камере горит свеча, вес всей камеры остается постоянным, хотя вес свечи и уменьшается. Это позволило сформулировать закон сохранения материи: хотя материя может переходить из одной формы в другую, ее вес (точнее, масса) всегда остается неизменным[1)].

Продолжая применять весы, химики обнаружили, что вещества взаимодействуют друг с другом в строго определенных весовых соотношениях. Возьмем пример из современной химии: при горении водорода (его соединении с кислородом, $2H_2 + O_2 = 2H_2O$) один грамм его реагирует с 8 граммами кислорода, образуя 9 граммов воды. Подобного рода наблюдения вдохнули новую жизнь в атомистическую теорию Демокрита (460–370 г. до н. э.). Поскольку было показано, что водород соединяется с кислородом в весовом соотношении 1:8, или 2:16, а кислород с углеродом (C) в соотношении 32:12, это легко будет понять, если мы припишем атому водорода вес 1, атому кислорода 16, а углерода — 12. Тогда соединение водорода с кислородом можно будет записать как H_2O, а кислорода с углеродом — как CO_2. Представление о том, что материя состоит из атомов, дает очень хорошее и легко понятное объяснение правилу весовых соотношений.

Отметим, однако, что все это еще не "доказывает", что материя состоит из атомов; остается место и для альтернативных гипотез. Дело в том, что вещества могли бы взаимодействовать в определенных весовых соотношениях, даже если бы они не были построены из атомов. Это подчеркивал великий физико-химик Оствальд, который до конца XIX века в существование атомов не верил. И известные в то время фактические данные отнюдь не исключали такую позицию.

Но вскоре начали накапливаться принципиально новые данные. Оказалось, например, что если пропустить рентгеновские лучи с длиной волны, соизмеримой с размерами атомов, сквозь какой-либо кристалл, то они образуют на поставленной за ним фотопластинке весьма специфическую картину пятен. Это легко объяснить (если принимать волновую теорию света) дифракцией

[1)]Впоследствии было установлено, что в особых условиях, вне сферы действия законов химии, масса и энергия могут взаимопревращаться согласно знаменитому уравнению $E = mc^2$, где E — энергия, m — масса, а c — скорость света. Принцип сохранения и в этом случае верен, но только в расширенной формулировке: постоянной остается сумма массы и энергии.

лучей на атомах кристалла, т. е. явлением, которое невозможно понять, если кристалл состоит из гомогенного вещества. Этот опыт — убедительное свидетельство в пользу атомной теории. Ее подтверждают теперь и многие другие результаты, и сегодня справедливость этой теории считается твердо установленной.

Когда первые данные такого рода стали известны Оствальду, он без колебаний признал атомы реальными объектами. Такое поведение для ученого было несколько необычным. Конечно, настоящие ученые должны были бы всегда руководствоваться фактами, но на деле многие из них с трудом отказываются от привычных теорий даже тогда, когда факты говорят против них.

Факты и творческое воображение

Наука начинается с того, что ученые называют данными или наблюдениями, а обыватель — "фактами". В рассмотренном выше примере данные, или наблюдения, — это сведения о весовых соотношениях реагирующих веществ. На следующем этапе творческое воображение ученого создает объясняющую их теорию или гипотезу. В нашем случае это гипотеза о том, что существуют невидимые материальные частицы — атомы, способные соединяться друг с другом. Ученый при этом вовсе не "открывает" атомы, а создает их своим воображением. Сказанное относится к любым научным гипотезам и вообще к результатам любого наблюдения.

Творческое воображение необходимо потому, что не существует никакого "механического" правила, с помощью которого можно было бы на основании имеющихся данных создавать сколько-нибудь значимые научные теории или концепции. Никакой компьютер (по крайней мере из ныне существующих), если ввести в него только сведения о положении и скоростях движущихся тел, не выведет законов Ньютона, а если представить другую группу фактов, не выдаст нам теорию эволюции путем естественного отбора.

Как уже говорилось, всякая научная теория верна лишь относительно, так как обычно можно найти несколько разных теорий, совместимых с одной и той же группой фактов. Кроме того, как бы хорошо ни подтверждалась теория имеющимися данными, мы никогда не можем поручиться, что нам известны все относящиеся к делу факты. Яркой иллюстрацией может служить теория света.

Ньютон считал, что свет — это поток крошечных частиц, которые мы сегодня называем фотонами. Вскоре, однако, выяснилось, что свет не всегда ведет себя в соответствии с таким представлени-

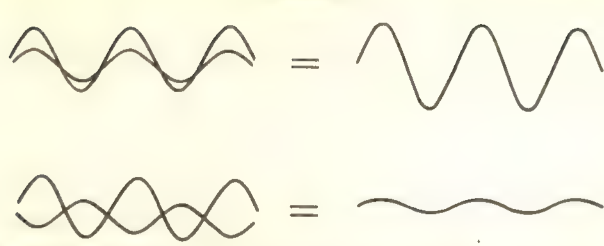


Рис. 7-1. Интерференция — явление, предсказанное гипотезой о волновой природе света. Когда фазы двух лучей совпадают, интенсивность света возрастает, а когда они противоположны — уменьшается. Этого нельзя было бы ожидать, если бы свет был просто потоком частиц.

ем: характер его распространения, особенно такие явления, как интерференция, очень легко объяснить, если рассматривать его как волнообразные колебания (рис. 7-1). Позднее Максвелл показал, что свет можно представить как волновое возмущение электромагнитного поля, и, основываясь на этой теории, физик Герц получил "свет" с очень малой частотой колебаний, который мы сегодня называем радиоволнами. Таким образом, все имевшиеся данные, казалось бы, подтверждали волновую природу света; и в самом деле, распространение света можно было полностью объяснить на основе волновой концепции.

И тем не менее Эйнштейну удалось показать, что есть одно явление, несовместимое с этой концепцией, — так называемый фотоэлектрический эффект. Если вы направите свет на подходящую металлическую поверхность, из ее атомов будут выбиваться электроны. Согласно волновой теории, их скорость (т. е. энергия) должна возрастать с увеличением интенсивности света. Однако на деле такой зависимости нет: повышение интенсивности света приводит лишь к увеличению числа выбитых электронов, а их энергия определяется не силой света, а длиной его волны. При распространении света он действительно ведет себя как "волна", но как только он начинает взаимодействовать с материей, он проявляет корпускулярные свойства — как бы дробится на частицы, энергия которых зависит от "длины волны". Иногда говорят, что свет может проявлять и волновые, и корпускулярные свойства, но лучше все же считать, что это не волны и не частицы, а нечто совершенно особое, чему нет аналогии в окружающем нас обычном мире. Как можно было ожидать, новая теория Эйнштейна имела далеко идущие последствия: она стала одной из основ современной квантовой теории.

Обычно люди склонны думать, что развитие науки идет путем

отрицания старых теорий и создания вместо них новых; но, как показал пример со светом, это слишком упрощенное представление. Новая теория включает в себя старую, она в некотором смысле расширяет ее, придает ей более общий смысл. Так, все факты, предсказываемые волновой теорией света, остались верными, и ее до сих пор используют при создании линз или радиопередатчиков. Новая теория объединяет старые концепции, она способна одновременно объяснить не только прежние данные о распространении света, но и новые, касающиеся его взаимодействия с материальными телами. Точно так же современная химическая теория не отрицает ни одного из установленных ранее алхимиками фактов, и все их знания в ней используются; но эта новая теория учитывает гораздо больше фактов, включая и те, что были известны ранее.

Новая, более обобщенная теория не должна противоречить верным предсказаниям старой, и по этому признаку часто легко бывает отличить идеи, выдвигаемые "шизиками". Например, некто Велиховский предложил теорию "сталкивающихся миров", согласно которой Земля и Венера движутся весьма причудливым образом, что будто бы позволяет объяснить некоторые факты (как он их понимал) из истории Вавилона и Египта. Эта теория действительно объясняла то, что он хотел понять, но при этом отбрасывала механику Ньютона. Вместо более широкой теории была предложена теория гораздо меньшей объяснительной ценности.

В науке различают данные и теории. Данные — это не совсем то, что в повседневной жизни называют "фактами". Строго говоря, "факты" — это наши прямые ощущения, и когда мы видим красный цвет, нам не нужно никаких теорий для того, чтобы сказать: вижу красное. Данные же требуют теории для их истолкования. Так, весовые соотношения при химических реакциях стали ценными данными только после того, как была создана теория взвешивания, которая ведет свое начало от работ Архимеда из Сиракуз. Она гласит, что веса могут считаться равными, если они уравновешивают друг друга при условии, что оба плеча весов одинаковой длины. Если мы не призна́ем справедливость этой теории, мы не сможем верно определить, что тяжелее, а что легче. Точно так же мы должны полагаться и на теории оптики и электричества, когда используем для "установления фактов" телескоп или вольтметр. Процесс, таким образом, идет по кругу и включает творческое воображение: данные подсказывают теорию, а теория в свою очередь используется для их интерпретации и получения новых данных.

Ученый назовет "теорией" лишь некий продукт творческого воображения, а не просто голое обобщение каких-то фактов; для

обывателя же это слово нередко означает нечто сомнительное и неточное. Когда ученый говорит, например, о "теории" эволюции, то многие думают, что он сам считает ее истинность весьма проблематичной. Однако лишь немногие считают сомнительной "теорию гравитации" Ньютона, возможно потому, что большинство знает, что она была с успехом использована при полетах на Луну.

Для ученого любая концепция, созданная на основе эмпирических данных, есть теория, хотя, конечно, какие-то теории он признает лучше обоснованными, чем другие. Теория считается особенно надежно обоснованной, если она не только согласуется с известными данными, но и позволяет предсказывать новые и даже неожиданные явления. В особенности это относится к физике — "образцовой" эмпирической науке.

Некоторые теории, имеющие предварительный характер, нередко называют "гипотезами". Например, представление о том, что динозавры были теплокровными животными или что они вымерли после столкновения Земли с астероидом или кометой, — это еще только гипотезы. Впрочем, это различие в понимании слов "теория" и "гипотеза" не всегда проводится последовательно.

Научная теория должна быть доступна для проверки, т. е. должна хотя бы в принципе существовать возможность выяснить, верна она или нет. Например, Ньютон утверждал, что сила притяжения между двумя телами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Это можно проверить путем измерения силы. Если теорию проверить нельзя, так как с нею согласуется любой набор фактов, ее обычно называют "бессодержательной", поскольку она не позволяет предсказывать новые факты.

И наконец, научная теория не должна противоречить другим теориям, которые считаются хорошо подтвержденными, хотя, конечно, иногда здесь возможны ошибки. Подавляющее большинство ученых с порога отрицает телекинез, т. е. способность "силой воли" влиять, например, на то, орлом или решкой упадет брошенная монета. Причину этого можно понять, если проследить судьбу очень сходной гипотезы Рене Декарта (1596–1650), который жил незадолго до Ньютона (1642–1727).

Декарт предложил теорию, будто бы объясняющую предполагаемое взаимодействие между разумом (или душой) и мозгом. Это можно себе представить, писал он, если мы предположим, что некая внешняя нефизическая сущность способна изменять направление движения материальных частиц в мозгу (это очень похоже на мысль о том, что человеческая воля может влиять на падение монеты). В то время такая мысль не противоречила известным законам физики, но вскоре было показано, что импульс (масса ×

скорость) в физических системах остается постоянным. Поскольку скорость — величина векторная, импульс всегда сохраняет свое направление, так что изменение его у какой-либо частицы в мозгу под действием нематериального агента будет нарушать хорошо установленный принцип сохранения импульса. От теории Декарта пришлось отказаться.

Генетическая эпистемология

"Научный метод" присущ не только науке: это просто формализация наших повседневных познавательных процессов. Кроме прямых сведений, поступающих от органов чувств, все, что мы знаем и о чем мы думаем, — это некая совокупность теоретических построений, созданная творческой работой разума. Она включает представления о том, что в трехмерном пространстве существуют материальные объекты, что один объект может влиять на другой, и т. д. Эти теоретические построения постепенно развиваются и усложняются.

Новорожденный ребенок способен воспринимать окружающее при помощи органов чувств, но не обладает механизмами преобразования этой информации. Ему известно, например, понятие объекта: когда он видит цветовое пятно, он не может предполагать, что оно вызовет какое-то осязательное ощущение, если протянет руку и дотронется до него. Но шаг за шагом в его сознании начинает создаваться некая теоретическая надстройка, в которой последовательно формируются еще не осознаваемые понятия об объектах, трехмерном пространстве, причинах и т. п. Эта надстройка и есть то, что он воспринимает как "реальный мир". Но хотя такой мир — продукт сознания, он не должен быть произвольной фантазией. Проверкой здесь будет способность созданной "гипотезы о реальном мире" более или менее верно предсказывать будущее развитие событий и, таким образом, служить основой для адекватного поведения. Если предсказания неверны, организм подвергнется опасности.

Представления о реальном мире воплощены в каких-то нейронных сетях мозга. Большая часть таких сетей создается в процессе обучения, но возможно, что среди них есть и врожденные, т. е. определяемые наследственностью. Например, ребенок вначале, видимо, не имеет представления о трехмерном пространстве, а козленок обладает им от рождения. Если поставить козленка на стол, то он остановится, подойдя к краю, как будто он знает, что следующий шаг приведет к падению, хотя никакого собственного опыта по этой части у него нет.

Ребенок осваивает речь еще до того, как в его мозгу сформируются все "взрослые" представления о мире. Разговаривая с ним, мы можем кое-что узнать о состоянии "детского разума" в этот период. Такую возможность блестяще использовал швейцарский психолог Жан Пиаже — основатель нового направления, изучающего происхождение и развитие физических, математических и метафизических представлений у детей. Пиаже назвал эту область науки "генетической эпистемологией".

Однажды Альберт Эйнштейн спросил Пиаже, как возникает у детей в ходе их развития понятие времени — как первичное или же как производное от других представлений. Чтобы понятнее была суть вопроса, рассмотрим подробнее, что означает "время" в понятиях физики.

В физике в качестве основных принято использовать три величины: время, длину и массу. Через них определяются все остальные. Например, скорость (V) определяется как длина (L), деленная на время (T):

$$V = L/T = LT^{-1},$$

ускорение — как приращение скорости за единицу времени:

$$A = V/T = LT^{-2},$$

а сила — как ускорение, умноженное на массу (M):

$$F = MA = MLT^{-2}$$

и так далее. Таким образом можно определить и все другие величины. Некоторые из них находят применение в науке, другие — нет.

Понятно, что использовать в качестве трех "основных" величин время, длину и массу хотя и удобно, но совсем не обязательно. Можно подобрать другие три, доступные для прямой оценки и измерения, и результат будет не хуже. Одной из них может быть, например, скорость. Поскольку $V = L/T$, величину L, где она встречается в физических уравнениях, можно заменить на $V \cdot T$. Можно даже, используя скорость света как постоянную величину, выразить все длины через время, например в световых годах или световых секундах. Можно сделать и наоборот — исключить время и заменить его отношением L/V. Поэтому вопрос о том, какая из физических величин является "психологически первичной", имеет смысл и весьма интересен.

Пиаже считал, что в раннем детстве первым возникает представление о скорости, а не о времени. Раньше всего появляется восприятие движения, а затем происходит абстрагирование, вначале весьма примитивное, позволяющее лишь понять, что один объект

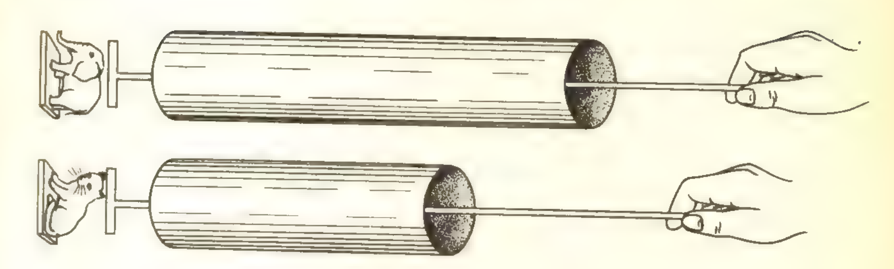


Рис. 7-2. Если два объекта одновременно вводят в трубки разной длины, а затем протаскивают через них с такими скоростями, что они появляются на другом конце одновременно, то маленький ребенок считает, что они двигались с одинаковой скоростью, "так как вышли в одно время". Таким образом, для ребенка скорость не есть отношение пути к времени.

движется быстрее другого. Только на следующей стадии в результате таких сравнений формируется представление о времени.

Очень маленький ребенок, если показать ему два движущихся объекта, может отметить бо́льшую скорость одного из них только тогда, когда один догоняет другой. Если он видит, что это происходит, но движение прекращается до момента обгона, он делает вывод, что более медленный объект двигался быстрее, так как не был настигнут. На этой стадии скорость — ведущее понятие; она не связывается с мыслью о расстоянии, пройденном за данное время: представление о времени еще не выработалось. Это убедительно демонстрирует описанный ниже опыт.

Ребенку показывают две трубки разной длины (рис. 7-2). В разговоре он правильно отвечает, что одна длиннее другой. Теперь через трубки пропускают куколок на палочках. Вводят их туда одновременно, и их движение рассчитано так, что и выходят они из трубок в одно время. У ребенка спрашивают: "Какая куколка двигалась быстрее?" Ответ ребенка таков: обе двигались с одной скоростью, так как вышли из трубок одновременно. Но если трубки удалить и повторить движение, то ребенок правильно отвечает, какая из кукол движется быстрее, поскольку одна обгоняет другую.

На этой стадии понятие одновременности еще не вполне сформировалось, оно плохо отделено от положения предметов. Если две куколки начинают двигаться из одного положения, продолжают движение вместе и останавливаются одновременно в одном месте, то ребенок правильно заключает, что обе остановились одновременно. Если же они движутся независимо друг от друга и

останавливаются в разных местах, хотя и в одно время, он не воспринимает этой одновременности. По мнению ребенка, та куколка, которая прошла большее расстояние, путешествовала дольше. Видимо, в этом возрасте (приблизительно до шести лет) ребенок думает, что более быстрое прохождение одного и того же расстояния занимает больше времени. Только позже отношение L/V становится одним из первичных понятий и понимается как "время".

Итак, коротко говоря, реальность — это то представление, которое создает для нас наша нервная система. Это утверждение, по сути, есть замкнутый круг, ибо только благодаря тому, что нервная система создает некую "реальность", мы знаем о существовании самой этой системы.

Глава 8

Клетка

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Клетка — это элементарная частица, как бы "атом" живой материи, наименьшее образование, которое может быть живым организмом. Существуют организмы одноклеточные (протисты и бактерии) и многоклеточные. Человеческое тело состоит примерно из 10^{15} клеток.

Клетка состоит из трех основных частей: 1) поверхностной *мембраны*, контролирующей переход веществ из окружающей среды в клетку и обратно; 2) внутренней *цитоплазмы*, где находятся разнообразные микроструктуры и органеллы клетки; и 3) клеточного *ядра*, в котором содержится ДНК — носитель генетической информации.

Клетки размножаются путем деления на две дочерние клетки, каждая из которых получает полный набор генетической информации от родительской клетки. Такой способ клеточного деления называется *митозом*.

Организмы, построенные из клеток с ядрами описанного выше типа (одноклеточные протисты, грибы, растения и животные) называются *эукариотами*. В отличие от них бактерии — это *прокариоты*. В их клетках нет органелл, а их ДНК не окружена ядерной мембраной. У прокариот передача наследственных факторов (генов) не подчиняется законам Менделя.

Простейшие прокариоты появились около 3,5 млрд. лет назад. Сегодня принято считать, что некоторые органеллы эукариотических клеток происходят от бактерий-симбионтов, которые приспособились к жизни внутри клеток иного типа. Из таких "зараженных" бактериями клеток приблизительно 1,4 млрд. лет назад образовались клетки эукариот.

◊◊

Клеточная теория

Все живые существа представляют собой либо одиночные клетки, либо агрегаты объединенных клеток. Клетка способна питать-

ся, расти и размножаться, и поэтому ее можно считать организмом, целостным живым существом. Она представляет собой как бы "атом" жизни, поскольку более мелкие ее части лишены этих способностей.

Клетки могут вести в значительной мере самостоятельный образ жизни, что видно при выращивании их в клеточных культурах. Клетки, выделенные из различных тканей животных и растений и помещенные в специальную питательную среду, растут и размножаются в ней. Этот метод сегодня широко используется в прикладных целях.

Слово "клетка" — это перевод латинского слова cellula — комнатка. Этот термин впервые использовал в 1665 г. Роберт Гук для описания многочисленных ячеек, которые он наблюдал под микроскопом в срезе пробки (рис. 8-1). Лишь позднее клетками стали называть живое содержимое таких ячеек. Отдельные клетки легко видеть под микроскопом, рассматривая ткани растений, так как растительные клетки строят вокруг себя наружную оболочку из целлюлозы. Границы между клетками животных тканей увидеть труднее. Общее правило, согласно которому все ткани животных и растений построены из клеток, известное как *клеточная теория*, было сформулировано в 1838 г. ботаником М. Шлейденом (1804–1881) и распространено на животные ткани в 1839 г. зоологом Т. Шванном (1810–1882).

Ближайшим следствием создания клеточной теории было осознание того, что клетка, будучи наименьшим живым организмом, служит также элементарной единицей в процессе размножения.

Как писал в 1855 г. великий патолог Р. Вирхов (1821–1902), только клетка может породить другую клетку — "Omnis cellula ex cellula". Многоклеточный организм развивается из одной клетки — яйца, которое делится, и тело растет в результате размножения составляющих его клеток. В приведенном афоризме Вирхов отразил и свои выводы относительно возникновения злокачественных опухолей путем некой трансформации нормальных клеток, существовавших раннее. Это был первый огромный шаг в понимании природы рака. Оплодотворение, зародышевое развитие и многие другие процессы стали гораздо понятнее в свете предложенной клеточной теории.

Строение клетки

В предыдущих главах говорилось, что живая материя всегда включает систему ферментов, катализирующих химические реакции, общим результатом которых является сохранение и воспроизведе-

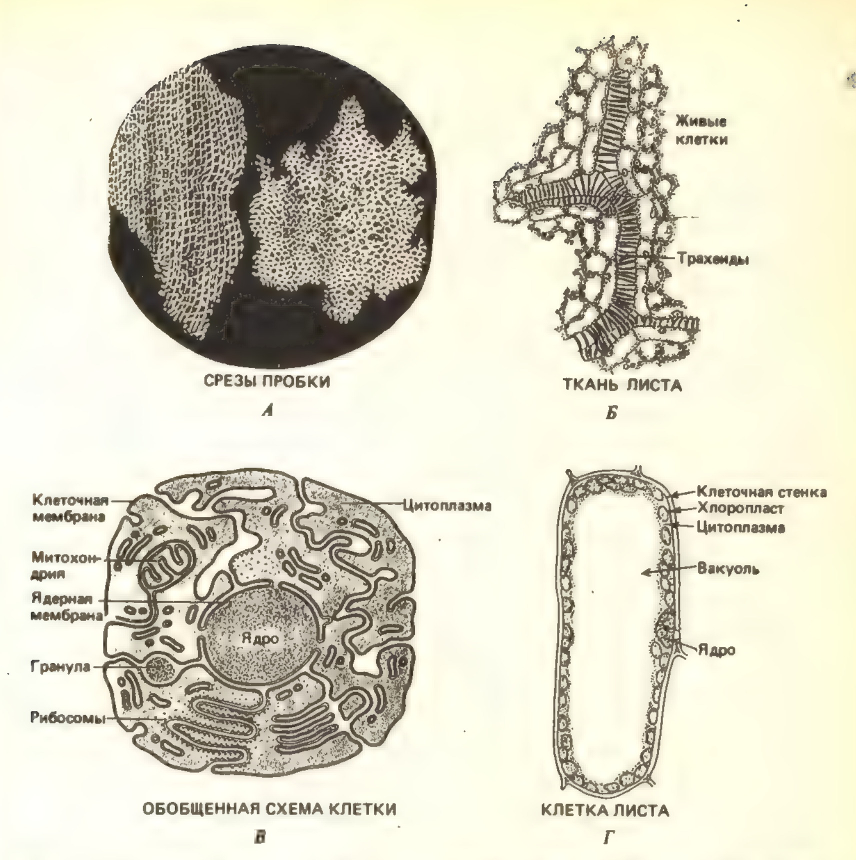


Рис. 8-1. Строение пробки, как его увидел Роберт Гук (*А*); это иллюстрация из его книги "Микрография", вышедшей в 1665 г. Гук назвал увиденные полости "клетками" (так обычно переводят употребленное им латинское слово "cellulae". Но пробка — мертвая ткань, и это пустые оболочки клеток. В живом листе такие оболочки, построенные из целлюлозы, наполнены живым содержимым, которые мы и называем сегодня клетками. Трахеиды — тоже мертвые клетки, стенки которых образуют трубочки для перекачки воды и растворенных в ней веществ (*Б*).

Хотя клетки сильно различаются по форме и функциям, их основная структурная схема одинакова (*В*). Их цитоплазма окружена клеточной мембраной, а внутри находятся клеточные органеллы, которые обычно тоже окружены мембранами. В митохондриях идет окисление сахаров и производится энергия. Клетки растений, кроме того, включают хлоропласты, которые синтезируют сахара из углекислого газа и воды с использованием энергии света (процесс фотосинтеза). Рибосомы участвуют в синтезе белка. В ядре находятся хромосомы (ДНК, связанная с белком), в которых хранится генетическая информация, необходимая для правильной сборки белков из аминокислот.

ние этой материи. Но клетки — это не просто мешки с ферментами. Внутри клеток все компоненты организованы в пространстве строго определенным образом, и легко показать, что эта организация исключительно важна для жизни клеток. Можно растереть лист шпината или кусочек печени. Некоторое время полученная кашица будет дышать, т. е. потреблять кислород и выделять CO_2, но вскоре дыхание прекратится и наступит "смерть". Одна из причин этого — то, что клетки содержат протеолитические ферменты, разрушающие белки. В норме эти ферменты заключены в крошечных мешковидных структурах, называемых лизосомами, но если эти структуры разрушить, ферменты высвобождаются и начинают расщеплять другие ферменты, в том числе и дыхательные. Нормальная пространственная организация важна также для деления клеток и многих других функций.

Несмотря на различия во внешнем виде и функциях, все клетки состоят из трех основных частей (рис. 8-1):

1) клеточной мембраны;

2) цитоплазмы;

3) клеточного ядра или его функционального эквивалента.

Клеточная мембрана

Окружающая клетку мембрана построена из двух слоев молекул жироподобных веществ, а между ними как бы плавают молекулы белков. Клетка способна выделять за пределы своей наружной мембраны различные защитные вещества, например слизь, целлюлозу, образующую клеточную стенку, и другие материалы. Функции их в основном механические, сходные с ролью раковины у моллюска. Их нужно ясно отличать от функций "живой" клеточной мембраны, в которой активно идут химические процессы, связанные с переносом веществ и восприятием внешних стимулов.

Главное назначение мембраны — препятствовать выходу определенных веществ из клетки или проникновению их извне и способствовать передвижению нужных веществ в нужных направлениях. В частности, мембрана обеспечивает поддержание определенной концентрации некоторых солей внутри клетки на постоянном уровне, нередко существенно отличающемся от их концентрации вне ее. Без других структурных компонентов клетка может некоторое время обойтись, но после повреждения мембраны сразу же гибнет.

Нетрудно убедиться, что проницаемость клеточной мембраны каким-то образом прямо связана с самой жизнью. Если порезать красную свеклу на ломтики и поместить их в воду, то красящее ве-

щество из них практически не выходит. Если, однако, убить клетки кипячением, то оно тотчас начнет переходить в воду. То же самое происходит с солями, аминокислотами и витаминами. Гибнущая клетка теряет контроль над внутренней концентрацией различных веществ, особенно солей. На практике первым признаком умирания клетки от любой причины, не обязательно кипячения, являются начинающиеся изменения в проницаемости ее наружной мембраны.

Проницаемость

Поглощение и выделение различных веществ живой клеткой контролируется особыми белками, которые встроены в клеточную мембрану, причем одна часть белковой молекулы выступает наружу, а другая — внутрь клетки (рис. 8-2). Эти белки служат теми "воротами", или "каналами", которые избирательно пропускают те или иные органические вещества (например, определенные сахара или соли). Существуют и "ворота" другого типа, которые лучше называть "насосами". Они не просто пропускают вещества, а активно "перекачивают" некоторые виды молекул, так что клетки (особенно клетки бактерий) могут получать питательные вещества из очень слабых растворов. Это накачивание или концентрирование веществ — активный процесс, и для него требуется довольно много энергии, которая должна запасаться в ходе обмена веществ.

Цитоплазма

Внутри мембраны заключено клеточное содержимое — водный солевой раствор, содержащий растворенные или взвешенные ферменты, сократительные нити (такие, как в мышечных клетках), запасные материалы (зерна крахмала, например) и другие вещества. Хотя 65–85% веса клетки составляет вода, эти вещества делают внутриклеточную среду очень вязкой. Этот полужидкий материал раньше обычно называли протоплазмой, и во времена Чарлза Дарвина и даже позже в нем видели "материальную основу жизни". В то время ученые были склонны считать протоплазму довольно гомогенной химической субстанцией, которую называли "альбумином" (т. е. по современной терминологии белком). Такие особенности живого, как рост, раздражимость и др., считали свойствами этой химической субстанции, подобно тому как синий цвет считают свойством раствора медного купороса. Сегодня мы знаем, что "протоплазма" далеко не гомогенна, и этот термин использу-

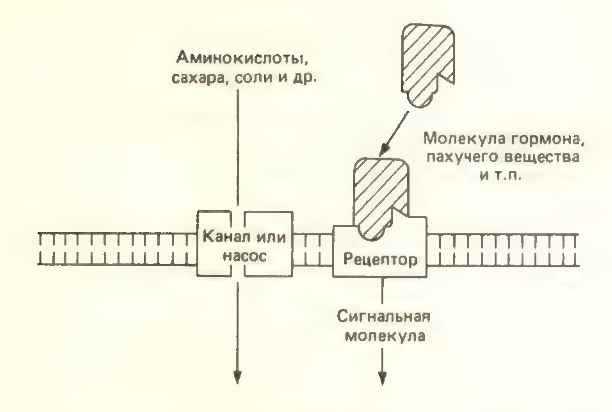


Рис. 8-2. Клеточная мембрана, построенная из двух слоев липидных молекул и непроницаемая для большинства веществ. В ней "плавают" молекулы белков. Некоторые из этих белков действуют как каналы или насосы, пропуская или активно "перекачивая" малые молекулы внутрь или наружу. Другие белки ("рецепторы") высокоспецифическим образом связывают определенные вещества из внеклеточной среды, и это приводит к образованию "сигнальных молекул", которые влияют на активность клетки. Такие рецепторы эквивалентны органам чувств и обеспечивают передачу информации от одних клеток другим.

ется редко. В наше время все, что находится внутри клеточной мембраны, за исключением ядра, называют *цитоплазмой*.

В цитоплазме находятся разнообразные органеллы ("маленькие органы"), которые тоже обычно окружены мембранами (см. рис. 8-1). К органеллам, в частности, относятся *митохондрии* — мешковидные образования, где находятся многие дыхательные ферменты. Именно здесь "сжигаются" сахара и вырабатывается энергия. Митохондрии есть и в клетках растений. В последних имеются также сходные структуры, называемые *хлоропластами*; они содержат зеленый пигмент хлорофилл, и в них происходит фотосинтез. Растительные клетки часто содержат вакуоль — пузырек жидкости, который может занимать бо́льшую часть объема клетки. В животных клетках вакуоли встречаются реже. Имеются и другие, менее заметные структуры. Так, небольшие тельца, называемые рибосомами и состоящие из белка и нуклеиновой кислоты (РНК), осуществляют синтез белка.

Клеточное ядро

Наконец, во всех жизнеспособных клетках, за исключением бактерий, есть участок, ограниченный мембраной, который называется клеточным ядром. В нем находятся *хромосомы* — длинные нитевидные тельца, состоящие из дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и присоединенного к ней белка. Мы уже знаем, что ДНК несет в себе генетическую (наследственную) информацию клетки.

Деление клетки

Клетки растут и размножаются путем деления на две дочерние клетки. Это просто на словах, но на самом деле все сложнее, так как каждой из дочерних клеток необходимо передать полный набор хромосом, несущих генетическую информацию. Поэтому перед делением число хромосом в клетке удваивается и при делении дочерние клетки получают по одному их набору каждая. Особый процесс, в котором хромосомы "растаскиваются" по дочерним клеткам тонкими нитями, обеспечивает их равное распределение (рис. 8-3). Такой тип клеточного деления называется *митозом*.

Дифференцировка клеток

Не все клетки многоклеточного животного или растения одинаковы: они видоизменились (дифференцировались) в разные типы, например в мышечные, эпителиальные, кровяные клетки и т. д. Каждый из этих типов по форме и функции сильно отличается от других клеток организма (рис. 8-4). Дифференцировка клеток происходит постепенно в процессе развития организма. Каждый организм развивается из одной клетки — яйца, которое начинает делиться и в конечном результате образует множество клеток, заметно отличающихся друг от друга.

Эти отличия определяются прежде всего набором белков, синтезируемых данной клеткой; например, клетки желудка образуют пищеварительный фермент пепсин, а в клетках мозга он не синтезируется. Во всех клетках растения или животного имеется полная генетическая информация для построения всех белков данного вида организмов, но в клетке каждого типа синтезируются лишь те белки, которые ей нужны. Многие гены в клетке не работают, и только часть их активно поддерживает синтез соответствующих белков.

Наиболее важную роль в этом выборочном синтезе белков играет контроль над процессами *транскрипции* (см. рис. 6-3). При

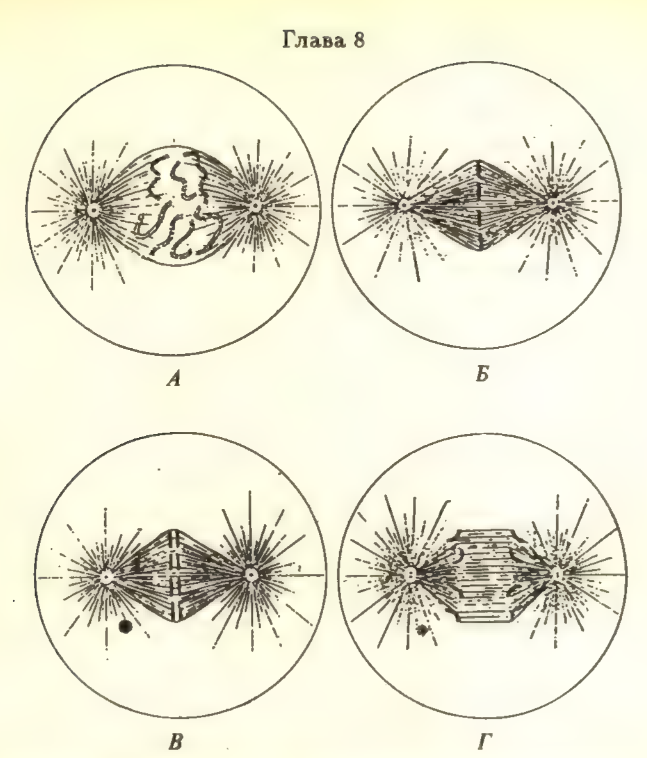


Рис. 8-3. Митоз. *А*. Хромосомы скручиваются и уплотняются. *Б*. Они выстраиваются в "экваториальной плоскости". *В*. После репликации каждые две дочерние хромосомы отделяются друг от друга. *Г*. Хромосомы расходятся к разным полюсам, а затем вся клетка делится. Образуются две новые клетки, каждая с полным набором хромосом.

помощи особого фермента ген (участок ДНК) образует свою копию — информационную РНК. Точкой начала транскрипции служит определенная последовательность нуклеотидов, которую "узнаёт" фермент, т. е. с которой он специфически связывается, после чего и начинается образование РНК-копии гена. Но может также существовать некая белковая или иная молекула, которая тоже способна узнавать эту последовательность и прикрепляться к стартовой позиции, и если это происходит, то образование информационной РНК здесь становится невозможным. Тем самым предотвращается и синтез соответствующего белка.

Образование таких регуляторных молекул находится под контролем других генов, и вся система представляет собой сложную сеть переключателей, напоминающую компьютер. У такой си-

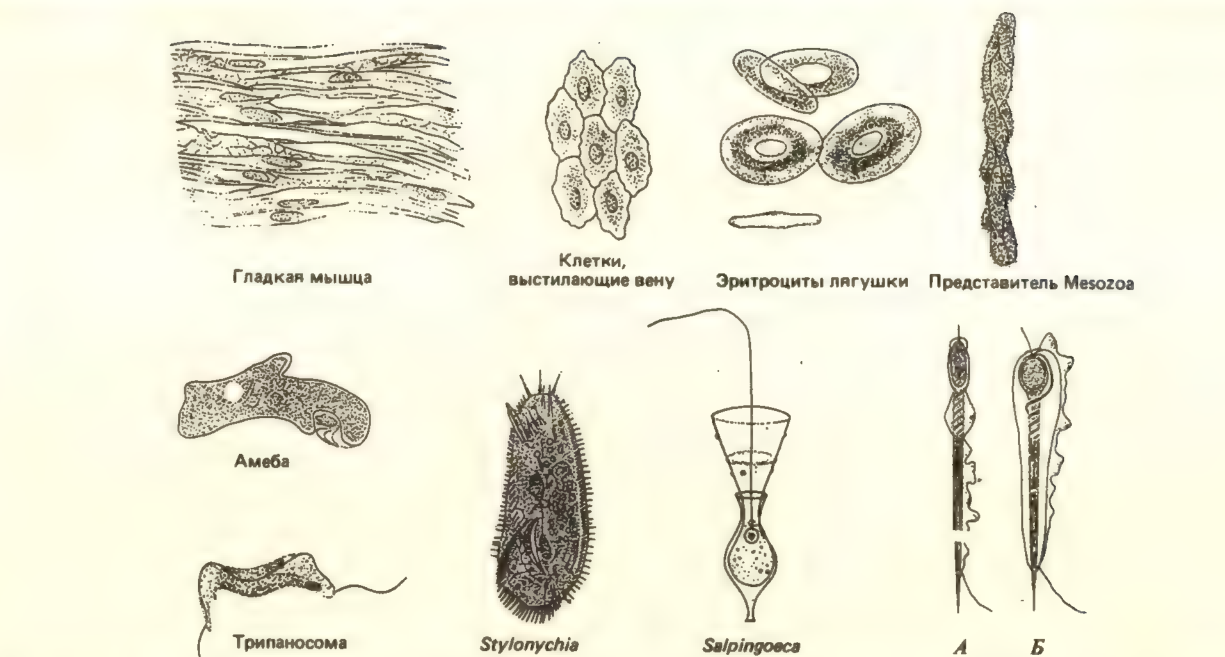


Рис. 8-4. Клетки бывают разных типов; агрегаты клеток одного типа называют тканями — есть, например, мышечная ткань, нервная ткань и т. д. Некоторые организмы, такие как изображенный здесь представитель группы Mesozoa (паразит почек осьминога), состоит всего из нескольких клеток. Протисты состоят из одной клетки. Показано, как амеба захватывает мелкого протиста. *Б* — гипотетическое жгутиковое простейшее, как полагают, похожее на предков всех многоклеточных организмов. Оно очень сходно со спермием (*А*). Таким образом, на одной из стадий нашего жизненного цикла мы сохраняем сходство с очень отдаленным одноклеточным предком.

стемы может быть несколько различных стабильных состояний. Предположим, есть гены *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. В зависимости от организации связей в системе, т. е. от того, какие гены подавляют активность каких-то других генов, а также от того, как происходит “включение” всей системы, активными могут оставаться разные сочетания генов — *ade*, *cda*, *bcd* и т. п. Стабильные состояния системы соответствуют при этом разным типам клеток. Нужно, однако, сказать, что детали дифференцировки клеток пока еще не ясны.

Два различных типа клеток

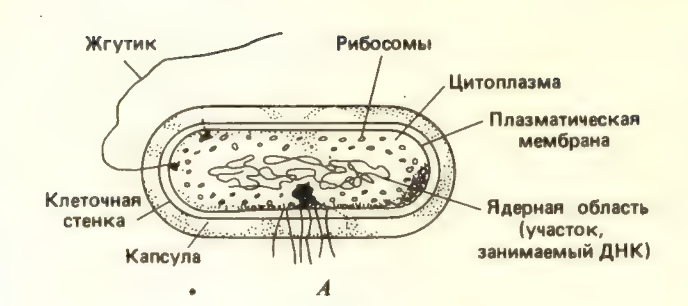
В зависимости от типа клеток, из которых они построены, все организмы подразделяют сейчас на две группы — на *прокариот* и *эукариот*. К прокариотам относятся бактерии, а к эукариотам все остальные организмы, т. е. простейшие, грибы, растения и животные.

Эукариоты могут быть одноклеточными и многоклеточными. Наши тела, например, построены примерно из 10^{15} клеток, но более мелкие животные состоят из меньшего их числа, например некоторые коловратки — всего из сотни. Нижний предел, понятно, это одна клетка, т. е. одноклеточные организмы, клетки которых имеют ядро и хромосомы и в этом отношении сходны с многоклеточными животными и растениями. Эту группу называют протистами (Protista) и подразделяют на Protophyta (организмы, которые имеют хлорофилл и получают энергию от солнца, как растения) и Protozoa (те, которые ближе к животным и питают-

---

Рис. 8-5. *А*. Клетка прокариотического организма (бактерии). К клеточной мембране снаружи прилегает клеточная стенка, сходная с целлюлозной стенкой растительных клеток, а поверх нее может быть еще капсула — слой слизистого вещества. В клетках прокариот нет органелл, ограниченных мембраной; рибосомы свободно взвешены в цитоплазме. ДНК, хотя она и находится в определенном месте клетки, ядерной мембраной не окружена, так что настоящего ядра нет. Клетки прокариот обычно намного меньше большинства эукариотических клеток.

Б. Поврежденная бактериальная клетка, из которой выходит ДНК в виде одной нитевидной молекулы, как минимум в тысячу раз более длинной, чем сама клетка. Это дает некоторое представление о количестве информации, нужном для кодирования всех особенностей даже такого простого организма, как бактерия. Эта ДНК компактно уложена в клетке, но не образует комплекса с белками, подобного хромосоме, и при делении распределяется между дочерними клетками не путем митоза.


Жгутик
Рибосомы
Цитоплазма
Плазматическая мембрана
Клеточная стенка
Ядерная область (участок, занимаемый ДНК)
Капсула

А

Б

ся другими организмами). К последним относится общеизвестная амеба, а также множество других одноклеточных организмов нередко весьма причудливой формы (рис. 8-4).

Прокариоты все одноклеточные, и их иначе называют бактериями (рис. 8-5). У бактерий ДНК не окружена ядерной мембраной, с ней не связано значительных количеств белка, и у них нет типичных хромосом. Эти и другие различия между клетками бактерий и эукариот можно вкратце суммировать следующим образом:

Прокариоты	*Эукариоты*
ДНК не заключена в ядерную мембрану	Имеется клеточное ядро
ДНК не организована в хромосомы	ДНК (вместе с особыми белками) образует хромосомы
Клетки делятся без митоза	Клетки делятся путем митоза
Клеточных органелл, окруженных мембраной, нет	Имеются клеточные органеллы (например, митохондрии), окруженные мембраной
Клеточная мембрана имеет относительно простой состав	В состав клеточной мембраны входят стеролы и другие соединения
Клетки небольшие	Клетки более крупные

Это подразделение на прокариот и эукариот становится сейчас более важным, чем прежнее разделение всего живого на растения и животных. Понятно, что различия между животными и растениями от этого не уменьшаются, но сегодня уже нет нужды непременно относить любой организм либо к первой, либо ко второй из этих групп. Например, нет необходимости решать, к какой из них относятся грибы.

Различию между прокариотами и эукариотами биологи придают столь большое значение потому, что оно касается механизма репликации ДНК и ее передачи дочерним клеткам в процессе клеточного деления. У эукариот митоз и его вариант, называемый мейозом, служат основой полового размножения и определяют ряд важных закономерностей наследования генетического материала (менделевское наследование). У прокариот хромосом нет, и они делятся без митоза. Поэтому признаки передаются у них не по правилам Менделя, хотя их наследование, конечно, тоже основано на передаче ДНК дочерним клеткам. Есть и другие важные отличия. Так, прокариоты не способны создавать многоклеточные тела (а только образуют иногда колонии).

Происхождение эукариотических клеток

Первыми организмами, появившимися около 3,5 млрд. лет назад, были прокариоты. Для тех, кто интересуется проблемами эволюции, очень важен вопрос о том, как возникли эукариотические клетки — ведь без них последующая эволюция многоклеточных животных и растений была бы невозможна.

Одно из существенных различий между прокариотами и эукариотами (такими, как животные и растения) состоит в том, что клетки последних содержат митохондрии — специализированные органеллы, в которых идут процессы окисления. В клетках растений помимо митохондрий имеются еще хлоропласты, ведущие фотосинтез, в результате которого из углекислого газа и воды образуются сахара. Давно подмечено, что хлоропласты и митохондрии очень похожи на некоторых бактерий, способных к фотосинтезу и дыханию. В 1910 г. русский биолог Мережковский высказал предположение, что они действительно происходят от свободноживущих бактерий. Эти бактерии когда-то проникли в другую прокариотическую клетку и вначале были внутриклеточными паразитами, но постепенно эволюционировали во внутриклеточных симбионтов (т. е. и сами стали приносить пользу клетке-хозяину). Со временем они превратились в хлоропласты и митохондрии. Так возникли эукариотические клетки. Это произошло примерно 1400 млн. лет назад, и поэтому сегодня клетка и ее симбионты — митохондрии и хлоропласты — хорошо приспособились друг к другу и образуют единое целое. Бактериальные признаки симбионтов так явно уже не проявляются.

В поддержку этой теории можно сказать, что и сегодня известны примеры такого сожительства. Например, мелкие клетки зеленых водорослей можно обнаружить в клетках некоторых губок, кишечнополостных (кораллов и гидр), плоских червей и моллюсков (тридакны и др.). Обитая здесь, они путем фотосинтеза производят пищу и кислород и для себя, и для хозяев, а в обмен получают CO_2, минеральные соли и защиту от врагов. Есть также биохимические данные в пользу того, что митохондрии и хлоропласты первоначально были симбионтами. Сегодня идея, высказанная в свое время Мережковским и встретившая тогда весьма скептическое отношение, получила широкое признание. Ее дальнейшему развитию способствовала американская исследовательница Линн Маргелис.

Если теория симбиогенеза верна, то ранняя эволюция эукариот шла весьма необычным путем. Вместо постепенного изменения отдельного вида и выработки у него различных адаптаций здесь

несколько совсем несходных видов вначале эволюционировали независимо, а затем вдруг объединили свои достижения. В результате получился совершенно новый организм множественного происхождения. Таким образом, и мы сами, будучи эукариотами, не можем похвастаться “чистотой” своего происхождения: мы тоже составные организмы, ведущие свое начало от нескольких предковых форм, в то время еще одноклеточных и сильно различавшихся между собой.

Глава 9

Мозг клетки

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Функции клетки координируются главным образом путем регулирования каталитической активности ферментов. Один фермент может активировать или подавлять другой, и в клетке они образуют сеть, которая по формальным признакам сходна с нервной системой. На своей поверхности клетка имеет даже аналоги органов чувств.

Ферменты — это белки, проявляющие каталитическую активность только тогда, когда они имеют определенную трехмерную конфигурацию, которая зависит от их аминокислотной последовательности. Эта конфигурация может изменяться в случае присоединения или отделения каких-либо химических группировок. Таким способом активность одного фермента может быть изменена другим, который катализирует соответствующие процессы (например, присоединение фосфата, ионов кальция и т. п.). Клетка располагает рядом механизмов, позволяющих ей повышать или снижать внутриклеточную концентрацию ионов Ca^{2+}, впуская их извне или "откачивая" из цитоплазмы.

Поскольку один фермент может активировать другой, цепь таких ферментов способна работать как усилитель сигнала. Одна молекула первого из таких ферментов активирует много молекул второго, а каждая их этих последних в свою очередь приводит в действие много молекул третьего и т. д. — получается "каскад" реакций, дающий очень сильный конечный эффект. Примером может служить процесс свертывания крови.

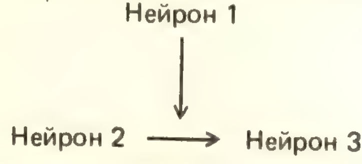
Сигнальная система эффективна только в том случае, если ее можно включать и выключать. В клетке сигнал обычно выключается путем разрушения или инактивации сигнальной молекулы. Если клетке это не удается, механизм может "застрять" во включенном или выключенном положении. Например, изменение в каком-то белке может привести к тому, что он не сможет "выключить" молекулу, которая действует как сигнал к росту и делению клетки. Так могут возникать злокачественные клетки.

Клетка способна “чувствовать” окружающую среду своими *рецепторами*, находящимися на ее поверхности и связывающими определенные молекулы. Это своего рода химическая чувствительность, подобная восприятию запаха и вкуса. Если такая молекула попадает на рецептор, она связывается с ним и изменяет его конформацию. Это изменение запускает цепь реакций, усиливающую эффект по принципу каскада, что приводит к появлению множества сигнальных молекул — “вторых посредников”. Они и определяют ответ клетки.

Обработка сигналов

Главную роль в определении видов синтезируемых клеткой белков играют особые гены, от которых зависит, какие гены, непосредственно кодирующие клеточные белки, будут “включены”. В результате этого возникают различные типы дифференцированных клеток. Кроме того, есть еще механизмы, регулирующие активность тех белков-ферментов, которые уже имеются в клетках данного типа. Без таких механизмов не могли бы существовать сложно устроенные многоклеточные животные и растения. Работа этих регуляторных приспособлений сходна с работой нервной системы.

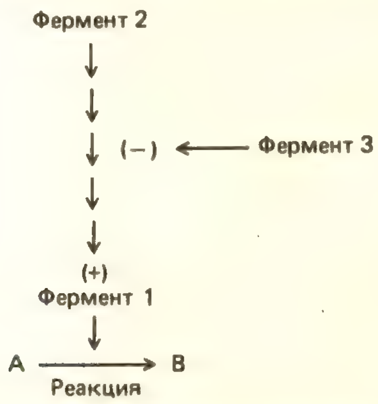
Нервная система характерна для животных. Она построена из нервных клеток, или нейронов, передающих электрические сигналы от сенсорных органов (таких, как глаз или нос) к органам-эффекторам (главным образом мышцам). Когда сигнал приходит к эффектору, он приводит его в действие (в случае мышцы — вызывает сокращение). Иногда сигналы прямо, без каких-либо промежуточных этапов, следуют от места возникновения к месту назначения. Однако чаще они по пути подвергаются “обработке”, т. е. на их передачу могут влиять другие сигналы. Вот простейшая схема:



Сигнал от нейрона 1 может либо способствовать, либо препятствовать прохождению сигнала от нейрона 2 к нейрону 3. Подобного рода схемы используются и в мозгу, и в компьютерах.

Один фермент может регулировать активность другого

В клетке нет нейронов, но она обладает системой ферментов, которые способны видоизменять и контролировать активность друг друга. Они образуют сеть, которая формально похожа на нервную систему или схему компьютера. Рассмотрим, например, такую схему:



Фермент 1 катализирует реакцию A → B, если он активирован ферментом 2, а тот в свою очередь может быть инактивирован ферментом 3. Таким образом могут формироваться весьма сложные сети, подобные “логическим схемам” мозга или компьютера.

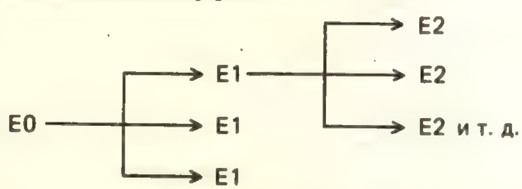
Продолжим эту аналогию: на поверхности клеток есть рецепторы, которые соответствуют органам чувств и дают сигналы, регулирующие активность ферментов в клетке. Это позволяет клетке общаться с соседями, “чувствовать” окружающую среду и отвечать на ее изменения, адаптируясь к ним. Изучение механизмов этой регуляции и передачи сообщений как внутри клеток, так и между ними — одна из главных проблем современной биохимии.

Активность белка-фермента зависит от того, каким образом свернута его цепь, а на некоторые детали ее конфигурации могут влиять вещества, взаимодействующие с белковой молекулой. Поэтому один фермент может изменять активность другого, катализируя присоединение или отделение таких веществ. Например, некоторые ферменты активируются в результате присоединения фосфата к определенным участкам их цепей, а другие — при удалении фосфата. В клетке имеется целый набор ферментов, которые присоединяют к другим ферментам фосфат или удаляют его. Тем самым они активируют ферменты или подавляют их активность.

Присоединение или отделение некоторых других молекул тоже может влиять на активность ферментов. Так, работа многих ферментов сильно зависит от концентрации ионов кальция (Ca^{2+}), способных связываться с ними. На этом связывании основана еще одна система контроля, определяющая концентрацию этих ионов в клетке. Обычно в клетках мало кальция, гораздо меньше, чем снаружи, но когда "кальциевые ворота" открываются, концентрация Ca^{2+} быстро возрастает. С помощью "кальциевого насоса" она, наоборот, может быть быстро снижена. В клетке есть и белки, способные связывать ионы кальция, и их активность тоже может меняться под влиянием других белков.

Усилитель сигналов

Молекула фермента невелика, но тем не менее она может активировать реакцию, в которой будут участвовать многие миллионы других молекул. Объясняется это тем, что ее действие может быть многократно усилено. Поскольку ферменты — это катализаторы, единственная молекула фермента E1 способна активировать множество молекул другого фермента, E2. Если E2 тоже активирующий фермент, он может усилить активность еще большего числа молекул фермента E3, и т. д. Такая цепь активаторов обеспечивает выраженный каскадный эффект:

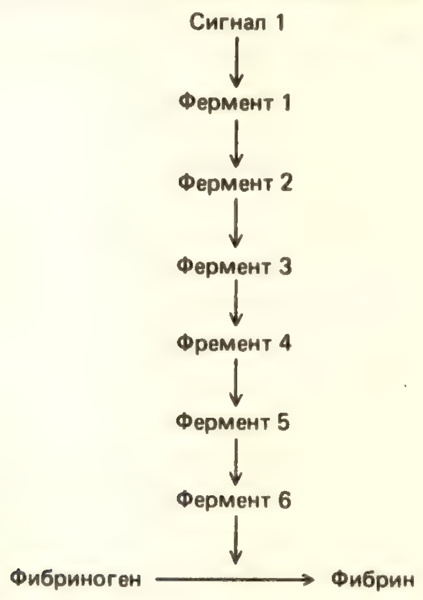


Примером такого рода каскадного усиления может быть процесс свертывания крови. При повреждении кровеносного сосуда (например, при порезе) начинается кровотечение, но вскоре образуется кровяной сгусток, который его прекращает. Дело в том, что в крови растворен белок, называемый фибриногеном. При кровотечении фермент отщепляет от его молекул небольшую часть, и он превращается в нерастворимый фибрин. Молекулы фибрина связываются между собой и образуют сгусток, который закупоривает кровоточащие сосуды:

$$\text{Фибриноген} \xrightarrow{\text{Фермент}} \text{Фибрин (сгустки)} + \text{Небольшой пептид.}$$

Фермент, преобразующий фибриноген в фибрин, присутствует в

крови в неактивной форме. Он активируется, если от его цепи будет отщеплен небольшой пептид. Это делает другой фермент, который в норме тоже находится в неактивной форме. Таким образом, мы имеем последовательное действие сразу шести ферментов:



Все эти "факторы свертывания", 1–6, представляют собой протеолитические ферменты, сходные с теми, которые разрушают белки до аминокислот в нашем кишечнике, но в крови каждый фермент отщепляет от последующего неактивного фермента ("профермента") только небольшой пептид, что ведет к образованию активной молекулы. Во всех звеньях этой цепи реакций каждая молекула активирует множество других, так что эффект лавинообразно нарастает. Таким образом одна молекула фермента 1 способна превратить огромное множество молекул фибриногена в фибрин.

На самом деле это очень тонкий процесс. Кровь должна быстро свертываться в нужном месте, иначе кровопотеря будет очень большой. Но если это будет происходить слишком легко, кровь может свернуться не только там, где следует, и это нарушит кровообращение, что тоже опасно для жизни.

Чтобы этого не произошло, первичный "сигнал", запускающий каскад, сам по себе является сложной системой реакций, главную роль в которой играют небольшие кровяные клетки, называемые тромбоцитами. При повреждении сосуда ферменты каскада начи-

нают работать лишь после того, как эти клетки прикрепятся здесь к фосфолипидной поверхности (фосфолипиды — жироподобные вещества, содержащие фосфор). Поскольку каскадная реакция развивается только в месте прикрепления пластинок, кровь свертывается только в поврежденном участке.

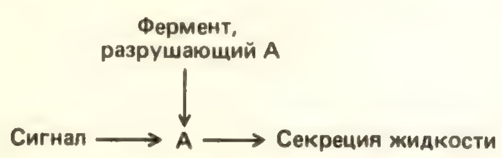
Случается, однако, что сгусток крови (тромб) образуется совсем не там, где нужно, и закупоривает артерию, что приводит к тяжелым последствиям. Чтобы предотвратить это, в крови действует фермент, способный растворять фибриновые сгустки.

Противоположное патологическое состояние — это болезнь гемофилия, при которой кровь не способна свертываться. Помимо описанных выше факторов, для свертывания нужны еще ионы кальция, витамин К и два вспомогательных белка. В крови у гемофиликов именно этих белков мало или нет вовсе, и их приходится вводить искусственно. Получают их из нормальной крови.

Выключение сигнала

Если вы звоните в дверь, то ожидаете услышать звонок, но вовсе не хотите, чтобы он звучал бесконечно. Если это случится, то второй раз позвонить уже не удастся. Поэтому, если вы создаете сигнальную систему, важно не только придумать систему подачи сигнала, но и способ его выключения. В клетке это делают ферменты, которые разрушают или инактивируют сигнальные молекулы.

Если такой механизм инактивации не срабатывает, то дело плохо: это хорошо видно на примере поноса у больных холерой. У клеток кишечника есть особые каналы, которые передают с участием молекулы А сигнал: “выделять жидкость”. В норме этот канал работает слабо и выделение жидкости невелико, так как А — одна из молекул, передающих сигнал, — эффективно разрушается ферментом:



Однако холерные бактерии производят токсин, который подавляет разрушение А и тем самым оставляет канал все время во включенном состоянии. У больного развивается сильнейший понос, он теряет много солей и воды и нередко от этого умирает. К счастью, есть довольно простое и эффективное лечение: больному дают соответствующий солевой раствор, чтобы восполнить потери.

Онкоген

Рассмотрим более сложный пример: регуляторное устройство клетки, отказ которого может привести к ее злокачественному перерождению.

В клетках — от дрожжевых до человеческих — есть белок ras (от rat sarcoma — саркома крысы), который служит сигнальной молекулой. Этот фермент способен изменять конформацию некоторых других ферментов, что приводит к стимуляции роста клеток и их деления.

Белок ras может присоединять две небольшие молекулы, X_1 и X_2. Он находится в активной форме, если к нему присоединена молекула X_2, и в неактивной — если X_1. Молекулы X_1 и X_2 могут взаимопревращаться, и белок ras бывает поэтому то в активной, то в неактивной конформации. Между двумя формами существует равновесие:

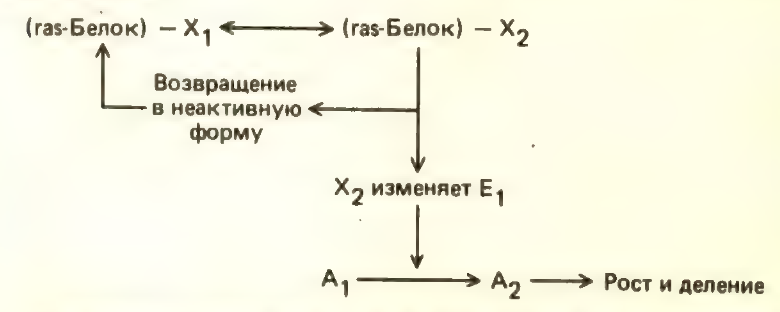
$$\underset{\text{неактивен}}{\text{ras}-X_1} \rightleftharpoons \underset{\text{активен}}{\text{ras}-X_2}$$

В норме большая часть белка ras находится в форме ras–X_1, т. е. в неактивной форме.

У белка ras две функции:

а) в активной форме он изменяет конформацию другого фермента, E_1, который в свою очередь катализирует другие реакции A → B, вызывающие рост и деление клетки;

б) кроме того, белок ras способен превращать X_2 в X_1, переводя таким образом самого себя в неактивную форму. В целом реакция выглядит так:



Поскольку белок ras все время инактивирует сам себя, сигнал к росту и делению остается слабым. Однако при некоторых мутациях, несколько меняющих свойства этого белка, он сохраняет способность стимулировать рост и деление, но перестает инактивировать сам себя. Измененный белок может теперь многократно

подавать сигнал к росту и делению, так что клетка получает в результате мощный стимул. Она начинает активно расти и делиться и перерождается в злокачественную, раковую клетку. При ее делении дочерние клетки получают ту же мутантную форму гена и остаются злокачественными.

В норме функция этого гена — кодировать белок, без которого клетка не могла бы существовать. Когда в нем происходит мутация, это ведет к злокачественному перерождению, так как в одном из звеньев регуляторного устройства "отказывают тормоза".

Восприятие окружающей среды

Наши органы чувств посылают в нервную систему сигналы, которые говорят о том, что происходит вокруг нас. Отдельная клетка тоже обладает аналогами таких органов. На ее поверхности есть особые участки, называемые *рецепторами* и сходные по строению с активными центрами ферментов. Их конфигурация такова, что они способны связывать только вполне определенные молекулы. Присоединение такой молекулы к рецептору изменяет его конфигурацию и тем запускает целую серию событий, в результате которых сигнал передается внутрь клетки (рис. 9-1):

Рецептор и сигнальная молекула

↓

образуют активный комплекс;

↓

активный комплекс активирует еще одну молекулу фермента, присоединяя к ней химическую группу;

↓

фермент вызывает образование молекулы "второго посредника";

↓

второй посредник активирует какую-то регуляторную цепь в клетке

Эта последовательность событий образует уже знакомый нам каскад. На поверхность клетки может попасть всего одна сигнальная молекула, но действие ее многократно усиливается, так как образуется множество молекул второго посредника, способных вызвать большой конечный эффект.

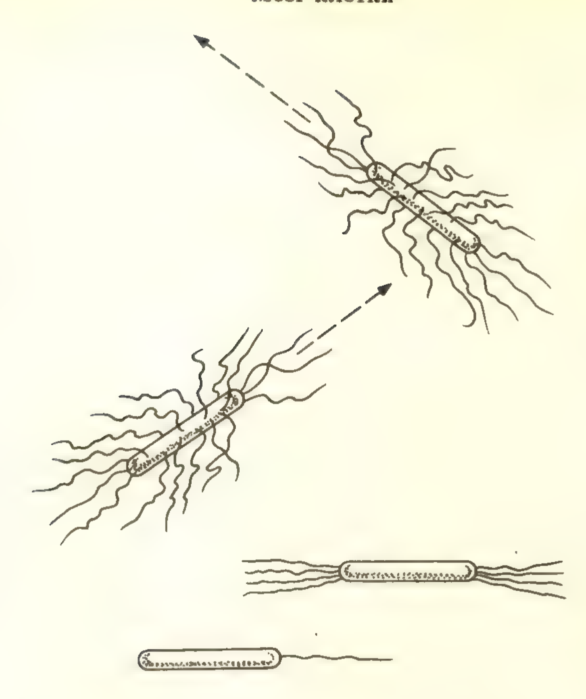


Рис. 9-1. У некоторых бактерий имеются жгутики — бичевидные структуры, которых может быть от одной до весьма значительного числа. Их движение продвигает клетку в жидкой среде. Обычно направление ударов у них одинаково и синхронно, но периодически оно становится хаотичным и бактерия начинает “кувыркаться”, а затем плывет в новом направлении.

Таким способом работает, в частности, наше обоняние. Молекулы пахучих веществ, для которых на клетках обонятельного эпителия есть соответствующие рецепторы, связываются с этими клетками и заставляют их посылать по нервным волокнам сигналы в мозг. Но более интересным примером служат, пожалуй, гормоны. Такой гормон, как инсулин, распространяется с током крови по всему телу и присоединяется в результате к каждой клетке, имеющей инсулиновый рецептор. Связавшись, он подает сигнал, изменяющий метаболизм клетки.

Рецепторы в клеточной мембране обеспечивают взаимодействие соседних клеток, дают информацию об окружающей среде и тем способствуют адаптации клетки. Понятно, что ответ единичной

клетки не может быть слишком сложным, но иногда он лежит в основе высокоадаптивного поведения. Примером могут служить реакции подвижных бактерий.

Плавающая бактерия

Многие, хотя и не все, бактерии имеют двигательные органы, представляющие собой бичевидные жгутики. У некоторых бактерий их два, по одному на каждом конце клетки, а у других — множество, они покрывают всю ее поверхность. Вращая эти жгутики, бактерия плавает в жидкой среде.

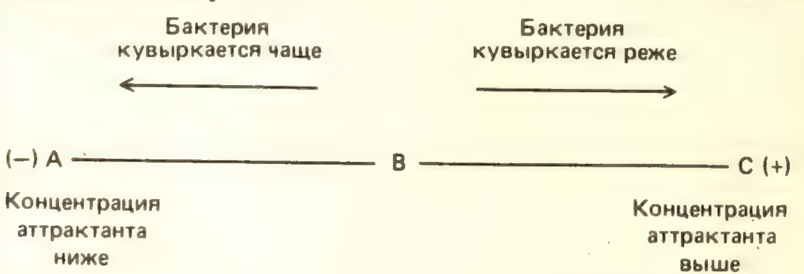
Направление вращения жгутиков периодически меняется на противоположное. При вращении их в одну сторону бактерия кувыркается на месте, а при обратном вращении плывет по прямой линии. В однородной среде бактерия передвигается в случайном направлении, которое меняется после каждого периода кувыркания. Если же она встречается с повышенной концентрацией какого-то привлекательного для нее вещества, то кувыркания происходят реже, а периоды прямого движения удлиняются, что приводит к направленному перемещению в сторону большей концентрации этого вещества. И наоборот, если окажется, что она плывет по направлению к какому-то "отпугивающему" ее веществу, то кувыркания учащаются, что способствует перемене направления. Привлекающие вещества (аттрактанты) — это обычно полезные для бактерии вещества, например аминокислоты, а отпугивающие (репелленты) — всякого рода вредные химикаты.

Бактерия "ощущает" аттрактанты и репелленты благодаря тому, что на ее поверхности имеется множество специфических рецепторов. Каждый из них взаимодействует только с определенным веществом. Когда молекула какого-то вещества связывается с рецептором, он подает сигнал, изменяющий поведение бактерии. В данном случае он влияет на вращение жгутика. Одна-единственная мутация может изменить структуру какого-либо рецептора, и тогда бактерия перестает реагировать на соответствующее вещество, хотя других веществ это не коснется.

Бактерии не "знают" направления, но влияние аттрактантов и репеллентов на частоту кувыркания позволяет бактерии приближаться к более высоким концентрациям аттрактанта и удаляться от повышенных концентраций репеллента.

Это можно упрощенно представить на двумерной схеме. Представим себе, что существует градиент аттрактанта, причем в обла-

сти А концентрация его мала, а в области С велика, а бактерия находится между А и С.



Если бактерия плывет в сторону А, то снижающаяся концентрация аттрактанта заставит ее кувыркаться чаще и пытаться плыть в ином направлении. Если же она плывет в сторону С, то повышение концентрации аттрактанта снизит частоту кувырканий и увеличит продолжительность прямого движения, так что бактерия хотя и будет поочередно двигаться в обоих направлениях, фазы "правильного" движения будут длиннее и в общем итоге она будет перемещаться вправо. Именно поэтому капилляр с аттрактантом вскоре оказывается набитым бактериями, которые попадают туда в результате суммированного эффекта отдельных случайных движений. (В случае с репеллентом тот же механизм будет действовать "наоборот"!)

Механизм, казалось бы, простой, но даже в нем есть тонкости, которых трудно ожидать от бактерии. Например, кувыркание зависит не от абсолютной концентрации какого-то вещества, а от ее изменения. Хотя градиент концентрации — явление пространственное, бактерия воспринимает его во времени, по мере того как плывет. Она замечает, что концентрация становится выше или ниже, чем была перед этим. Иными словами, у бактерии есть что-то вроде примитивной памяти. Поэтому можно заменить пространственный градиент временны́м. Если аттрактантом служит аминокислота, можно добавить фермент, разрушающий ее с подходящей скоростью, так что концентрация аминокислоты будет снижаться. Бактерии отвечают на это увеличением частоты кувыркания и меняют направление движения так, как будто они плывут вдоль градиента в зону с более низкой концентрацией.

Хотя до конца не ясно, почему аттрактанты и репелленты оказывают противоположное действие, связь между стимулом и частотой кувыркания особенно наглядно выявляется у одного мутанта, у которого в норме жгутик вращается по часовой стрелке,

а не против нее. Такой мутант реагирует на репелленты так, как нормальная клетка на аттрактанты! Он уплывает от полезных веществ и “стремится” к вредным. Это похоже на ситуацию, когда в машине поменяли бы местами педали тормоза и газа. Конечно, в природе такому мутанту суждена недолгая жизнь.

Глава 10

Дарвин и его двоюродный брат

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. В те времена, когда Уоллес и Дарвин предложили теорию эволюции путем естественного отбора, в ходу была теория "промежуточного" наследования: например, окраска шкуры или размеры тела у потомства якобы должны быть средними между соответствующими признаками родителей. В 1867 г. шотландский инженер Дженкин показал, что если признаки наследуются таким образом, то эволюция путем естественного отбора невозможна. Каждая вновь появляющаяся мутация будет "растворяться" в популяции организмов, как капля молока в бочке воды. Дарвин был не в состоянии опровергнуть это.

Кузен Дарвина Ф. Гальтон подошел к проблеме наследственности с количественных позиций. Он, например, изучал зависимость между ростом родителей и потомков. Оказалось, что многие признаки, например рост, действительно частично наследуются, однако вскрыть механизм этого явления Гальтону не удалось; но все же его работа существенно повысила интерес к биометрии и статистике. Сегодня, однако, Гальтона помнят главным образом как одного из основоположников "позитивной евгеники", сторонники которой считают, что можно улучшить человеческий род, способствуя размножению его наилучших представителей.

У животных, и особенно у человека, имеются два хранилища информации:

а) первое — это генетический материал, или ДНК, которая определяет обмен веществ и строение тела организма;

б) второе — это информация, хранимая в нервной системе; значительная часть ее приобретается с опытом и обучением. Она определяет поведение. Но поскольку устройство нервной системы тоже зависит от наследственности, то и поведение частично определяется генетическим материалом. Оно совместно программируется и генами, и жизненным опытом.

В этой и в последующих главах речь пойдет о генетической информации. Сегодня мы знаем, что представляет собой генетиче-

ский материал и как он воспроизводится (реплицируется): этими вопросами занимается молекулярная генетика. Но одна лишь молекулярная генетика не в состоянии объяснить, как генетический материал передается от поколения к поколению. Передача генов и их распределение в популяциях — это предмет "классической генетики", к основным положениям которой мы и переходим.

Дарвину было сложно...

В 1836 г. Чарлз Дарвин, вернувшись домой после пятилетнего кругосветного путешествия на корабле "Бигль", начал разрабатывать свою теорию эволюции. Иногда он обсуждал ее с немногими своими друзьями и коллегами, в том числе и в переписке. Остальным казалось, что он целиком погрузился в классификацию усоногих раков и в исполнение обязанностей секретаря Геологического общества. Друзья, знавшие положение дел, советовали ему опубликовать свою гипотезу, чтобы кто-нибудь не опередил его, но он их не слушал. И вот 14 июня 1858 г. грянул гром: Дарвин получил письмо от некоего Альфреда Рассела Уоллеса, посланное ему из Тернате на Молуккских островах. К письму была приложена статья, которую Уоллес просил передать сэру Чарлзу Лайелю, известному геологу и другу Дарвина. В ней кратко излагалась сущность теории эволюции путем естественного отбора.

Уоллес давно уже полагал, что виды могут изменяться, и высказал эту точку зрения в одной из своих работ в 1855 г.; так же как и Дарвина, его интриговал вопрос о причинах превращения одного вида в другой. В феврале 1858 г. в Тернате он болел тропической лихорадкой, и тут его вдруг посетило озарение: он вспомнил, как читал труд Мальтуса "Опыт о законе населения", впервые опубликованный в 1798 г. В нем Мальтус писал, что каждая популяция стремится максимально размножиться без учета средств к существованию, и когда она достигает некой предельной численности (зависящей от условий жизни), дальнейшему росту начинает препятствовать нищета[1]: излишнее население должно гибнуть. Это может происходить трагически и внезапно, а может быть простым следствием более высокой смертности, постепенно возрастающей по мере приближения к пределу возможного роста.

Мальтус, однако, специально не занимался вопросом, кто выживет, а кто погибнет. Догадка, озарившая Уоллеса, состояла в следующем: выживать будет не случайная выборка из популяции,

[1] Мальтус был церковником и с негодованием отвергал возможность регулировать численность населения "греховным способом", т. е. с помощью противозачаточных средств: поскольку это грех, он тоже должен вести к неблагополучию — если не в этом мире, то в потустороннем.

а те особи, которые лучше приспособлены к условиям существования. Если их приспособленность выше среднего уровня для всей популяции и если она хотя бы частично наследуется, то вид в целом будет изменяться в сторону большей приспособленности, т. е. вырабатывать поведенческие и анатомические адаптации. Интересно, что Дарвин пришел к таким же выводам тем же путем и тоже прочитав Мальтуса.

Выздоровев от лихорадки, Уоллес за три дня написал статью и послал ее в Лондон с ближайшей почтой. Получив ее, Дарвин был сильно обеспокоен. Хотя Уоллес был в то время всего лишь малоизвестным натуралистом, который зарабатывал на жизнь сбором тропических насекомых, в сложившихся обстоятельствах его сообщение нельзя было игнорировать. Дарвин посоветовался с друзьями, прежде всего с сэром Чарлзом Лайелем и сэром Джозефом Гукером, известным ботаником, и они решили, что нужно объединить выдержки из письма, которое Дарвин незадолго до этого отослал американскому ботанику А. Грею, и резюме неопубликованной статьи, написанной еще в 1844 г. Все это вместе с сообщением Уоллеса было представлено в докладе Лондонскому линнеевскому обществу 1 июля 1858 г. Свою книгу "Происхождение видов" Дарвин опубликовал лишь семнадцать месяцев спустя; она вышла 24 ноября 1859 г., и все 1250 экземпляров были распроданы в первый же день.

Большой интерес к этому событию был обусловлен вовсе не тем, что Дарвин и Уоллес постулировали превращение одних видов в другие, т. е. сам факт эволюции. Об этом и раньше говорили многие, и прежде всего Ламарк во Франции, а также дед Чарлза Дарвина — Эразм Дарвин и, наконец, Анаксимандр в древней Греции.

Интерес к идее естественного отбора в основном определялся тем, что Дарвин и Уоллес предложили механизм, способный "конструировать" живые существа без участия творца[1)], и тем самым не только подрывали миф о "творении", который и так удовлетворял не всех, но и главный довод в его пользу — "если что-то сотворено, то должен быть и творец". Так аргументировали сторонники

[1)]Предложенная теория, конечно, не доказывала, что творца не было. Однако здесь уместно вспомнить о "бритве Оккама" — принципе, который обычно формулируют так: "Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem" ("не нужно умножать сущности без необходимости"). (Сам Оккам писал: "...pluralitas non est ponendum sine necessitatem", смысл этих слов тот же.) Таким образом, нет надобности ссылаться на сверхъестественного деятеля, если есть иное, естественное объяснение. Следует сказать, что принцип "бритвы Оккама" не срабатывает, если применять его ко Вселенной в целом. Многие находят удивительным и необъяснимым сам факт существования человечества и Вселенной, другие же удивляются тому, что этот факт кого-то поражает.

“естественной теологии” (например, Палей), доказывая существование Бога. Работы Палея были в то время в обязательном списке для чтения каждого студента Оксфорда и Кембриджа, и студентам настойчиво внушали, что его доводы неоспоримы. Возможно, что многие бывшие питомцы упомянутых университетов считали, что все это — вроде заклинаний от злого духа. Добавим, что в XX веке образованные люди всегда стремились разбираться в важнейших результатах естественных наук, и это им в значительной степени удавалось. Однако позже, по мере того, как образование распространялось все шире, но становилось более поверхностным, отношение к науке стало постепенно изменяться. Сегодня многие считают, что ознакомление с наукой — либо род развлечения, упрощенного до уровня, не требующего умственных усилий, либо всего лишь элемент технического образования. Интеллектуальная часть науки, если она вообще существует, — это просто приправа, необходимая для того, чтобы сделать более приятным труд специалиста, занятого решением прикладных задач.

Теория эволюции путем естественного отбора содержала в себе важнейший элемент любой хорошей научной теории: она позволяла объединить множество, казалось бы, не связанных друг с другом фактов. И Дарвин, и Уоллес (в особенности первый из них) сумели использовать богатейший материал палеонтологии, систематики, биогеографии и других наук, и все данные указывали на то, что эволюция действительно шла, причем наиболее вероятной движущей силой этого процесса представлялся естественный отбор[1]. Оставалась, к сожалению, одна серьезная трудность, и для тех немногих, кто требовал от этой теории полной убедительности, она казалась непреодолимой. Камнем преткновения было распространенное в то время представление о природе наследственности.

Ни Уоллес, ни Дарвин, ни другие ученые (за исключением одного, работу которого никто не удосужился прочитать) еще не зна-

---

[1] Некоторые видные ученые, современники Дарвина, тем не менее остались весьма активными антиэволюционистами. К их числу принадлежали анатом Р. Оуэн в Англии и зоолог и палеонтолог Л. Агассис из Швейцарии, работавший большую часть жизни в Гарварде. Даже великий геолог сэр Чарлз Лайель поверил в теорию Дарвина не сразу. Всех этих выдающихся ученых до сих пор иногда упоминают среди “креационистов” только потому, что они имели свою точку зрения. На самом деле, хотя они действительно были антиэволюционистами, их антиэволюционизм, увы, не мог служить для спасения душ как их самих, так и окружающих от вечных мук. Основываясь на данных палеонтологии, они признавали появление новых видов, но полагали, что это результат каких-то пока непонятных естественных процессов, а не постепенного превращения одного вида в другой вроде того, как думали Ламарк и Дарвин.

ли тогда законов наследования признаков. К тому времени было, правда, известно, что иногда признаки могут проявляться не во всех поколениях подряд. (Этот таинственный феномен, названный позже "атавизмом", состоит в том, что у потомков вдруг снова появляются признаки более или менее отдаленных предков.) Полагали, однако, что наследственность в целом основана на принципе "смешивания" (если не считать отдельных непонятных исключений). Например, у какого-то растения могли быть либо белые, либо красные цветки. Если предположить механизм "смешивания", то у гибрида цветки должны быть розовыми, а при скрещивании красной формы с розовой — темно-розовыми и т. д. Во многих случаях так оно и бывает. Известно было также, что браки между темнокожими и белыми людьми дают потомство, промежуточное по сравнению с родителями, вроде кофе с молоком.

Из этого следовал важный вывод: новый признак, появившийся у какого-то индивидуума как "спорт" (сегодня мы сказали бы — мутация), со временем должен исчезнуть, раствориться в популяции несмотря на отбор, как стакан молока во многих бочках воды. И в самом деле, математически мыслящий британский инженер и физик Ф. Дженкин[1)] в 1867 г. строго доказал, используя элементарные арифметические выкладки, что в случае усреднения признаков при скрещиваниях естественный отбор работать не будет. Дарвин так и не нашел убедительного ответа на эту критику.

Промежуточное проявление признаков у потомства означало, что все генетические различия в популяциях должны быстро нивелироваться, и тогда вся популяция должна становиться однородной, состоять из очень сходных индивидуумов. Очевидно, что дело обстоит иначе, и одно это заставляло биологов интересоваться: а почему не так? Но определенного ответа они не находили и стали, наконец, просто отмахиваться от выводов инженера — возмутителя спокойствия; эта логическая неувязка тревожила лишь немногих.

[1)]Ф. Дженкин (1833–1885) был необычайно разносторонним человеком. Сын флотского офицера и матери с литературными талантами, он получил образование в Женеве и внес значительный вклад в физику и технику изоляции морских подводных кабелей. С 1868 г. он был профессором технических наук в Эдинбурге. Дарвин, не имея возможности ответить на весьма убедительные возражения Дженкина, начал, не высказывая это прямо, все больше склоняться к представлениям Ламарка об использовании или неиспользовании органов и о наследовании приобретенных признаков как к движущим силам эволюции. Он сохранял, однако, надлежащее критическое отношение к идеям Ламарка в целом и вообще к затемнению проблемы. При этом Дарвин, так же как и в других вопросах, по-прежнему стремился очень внимательно относиться к доводам своих предшественников и критиков.

Сегодня, оглядываясь назад, мы видим, что теория эволюции создавала большой стимул к изучению явлений наследственности. Дарвин сам, наряду с другими, занимался этой проблемой. Но по складу ума и характеру он не был хорошим экспериментатором; его сильной стороной было умение делать правильные выводы из большой массы не вполне ясных и иногда даже противоречивых фактов. Некоторые из неудачных попыток анализа, предпринятых не только им самим, все же дали кое-какие полезные результаты.

Чарлз Дарвин происходил из семьи, богатой пытливыми умами. Упомянем лишь его двоюродного брата Фрэнсиса Гальтона (1822–1911): он понимал важность проблемы наследственности для теории эволюции и был твердым, почти фанатичным приверженцем количественных методов исследования. Так, однажды он попытался выяснить эффективность молитвы, сравнивая частоту кораблекрушений, постигших суда с миссионерами на борту и без оных (предполагалось, что миссионеры усердно молились, в отличие от грешных моряков).

Не удивительно, что Гальтон подошел к проблеме наследственности с количественных позиций. Он измерял все что только можно у родителей и потомков и искал математические зависимости между найденными величинами. Хотя ему удалось, к его удивлению, описать некоторые взаимосвязи математическими уравнениями, ответа на главный интересовавший его вопрос он так и не получил. Но зато его стали считать одним из основателей *биометрии* — количественного и статистического анализа живых объектов. Биометрия дала мощный импульс развитию статистики, которая стала сегодня незаменимым и повседневным инструментом исследований практически во всех областях науки и, можно надеяться, станет таковым в изучении проблем повседневной жизни.

Гальтон искал ответа на два вопроса. Во-первых, какой вклад вносит каждый из родителей в признаки потомства? Во-вторых, можно ли отбором родителей с крайним выражением какого-то признака сдвинуть средние показатели популяции в нужном направлении, как того требовала дарвиновская теория эволюции?

Для решения этих вопросов Гальтон стал изучать наследование роста у людей, так как этот признак легко измерить. Вначале он провел обмеры популяций лондонцев, а затем попытался выяснить, есть ли какая-то взаимосвязь между ростом родителей и их детей. Он нашел, что дети особенно высокорослых отцов имели рост выше среднего для всей популяции, а дети малорослых — ниже. Дети отцов среднего роста по этому признаку не отличались от среднего для популяции. Таким образом, рост принадлежал к

наследуемым признакам[1]. Однако, хотя дети высоких и низких отцов и проявляли тенденцию быть соответственно выше и ниже среднего, по степени этого отклонения они уступали своим отцам. Как говорил Гальтон, они регрессировали по этому признаку и приближались к средней для всей популяции. Кроме того, рост их сильно варьировал, и у некоторых низкорослых отцов были высокорослые дети, и наоборот. Те же отношения существуют между ростом матерей и их детей. Из этих наблюдений Гальтон заключил, что отбор действительно может влиять на средний рост, увеличивая его или уменьшая.

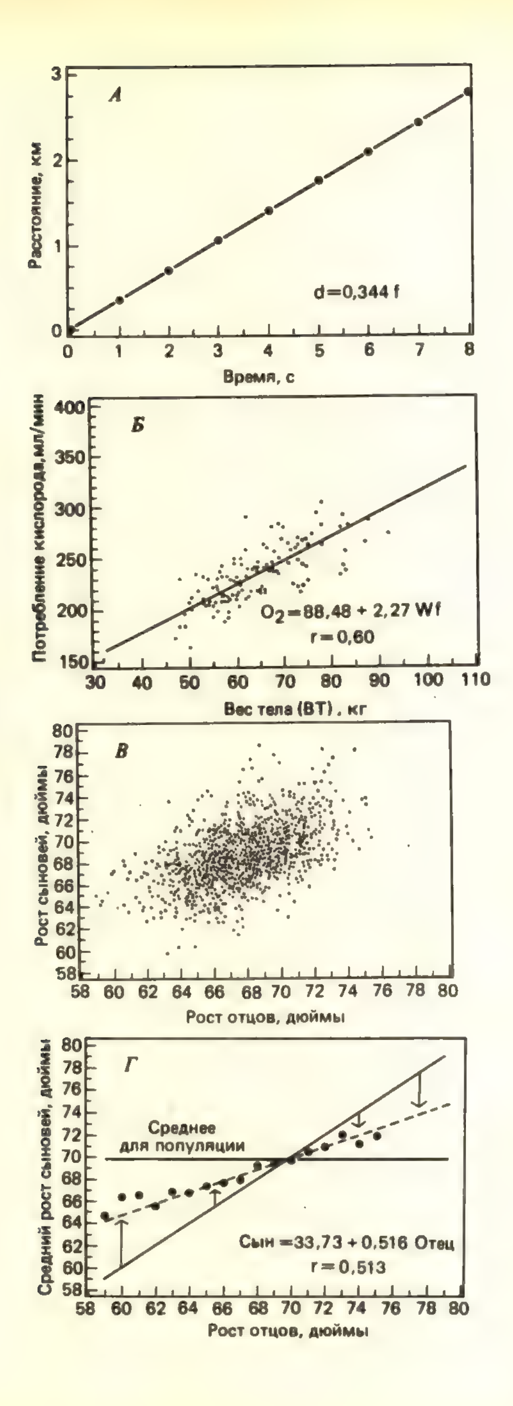
Этот вывод был совершенно верным применительно к изученному материалу, но в качестве общего заключения он был несколько преждевременным. Гальтон исследовал лишь одно поколение потомков и поэтому не мог знать, сохранится ли эффект в будущем. Кроме того, изменения, которые он наблюдал, не выходили за границы естественной изменчивости популяции: никто из потомков высоких или низкорослых людей не был существенно выше или ниже самых рослых или же малорослых членов исходной популяции. Таким образом, Гальтону не удалось показать, что отбор может привести к популяционным изменениям типа предсказанных Дарвином. Сегодня мы знаем, что такой отбор действует в узких рамках: он дает результаты только в случае генетической неоднородности исходной популяции. Если не появляются новые мутанты, то с каждым поколением отбор становится все менее эффективным.

Гальтон попытался также получить более определенный ответ на свой второй вопрос: каков вклад каждого из родителей в потомство? Для количественного решения этой проблемы Гальтон и другие ученые создали новые способы обработки количественных данных.

Диаграммы разброса, регрессия и корреляция

Нередко исходные данные состоят из парных величин и задача заключается в том, чтобы найти отношение между ними. Рассмотрим простой пример из физики.

[1]Строго говоря, эти результаты не говорят о том, что высокий рост — биологически наследуемый признак. Можно представить себе, например, что высокие отцы были такими потому, что хорошо питались, а их дети — по той же причине. Сегодня мы знаем, что рост действительно отчасти определяется генами, но отчасти и питанием. Но по сути дела заключение Гальтона было совершенно верным: большая часть наблюдаемого эффекта определялась биологической наследственностью.


A
Расстояние, км
d=0,344 f
Время, с
Б
Потребление кислорода,мл/мин
O2=88,48 + 2,27 Wf
r=0,60
Вес тела (ВТ), кг
В
Рост сыновей, дюймы
Рост отцов, дюймы
Г
Средний рост сыновей, дюймы
Среднее
для популяции
Сын =33,73 + 0,516 Отец
r=0,513
Рост отцов, дюймы

Скорость звука в воздухе при 20°C составляет 0,344 км/с. Эту зависимость можно выразить уравнением:

$$d = 0,344t.$$

где d — расстояние в километрах, а t — время в секундах. График этого уравнения — прямая линия (рис. 10-1, *А*):

$$y = 0,344x.$$

Величина 0,344 отражает угол наклона прямой. Уравнение этой прямой обладает предсказательной силой: если мы знаем время t, мы можем предсказать, на какое расстояние d распространится звук, и наоборот. Так, за 5 секунд звук пройдет расстояние 1,72 км.

Если мы возьмем пары данных, в данном случае время и расстояние, и построим по ним график в двумерном пространстве с осями x и y, то каждая пара будет представлена точкой и теоретически все эти точки должны лежать на линии $y = 0,344x$. На самом деле они не лягут точно на эту линию, так как в любых измерениях есть источники ошибок, однако можно ожидать, что они расположатся достаточно близко к ней. Чем ближе они к линии, тем точнее будет предсказание о распределении точек, т. е. об отношении x к y. Таким образом можно представить графически любые пары данных.

На биологические параметры влияет множество различных факторов, и измеренные отношения обычно не будут здесь так хорошо соответствовать прямой или какой-либо другой геометрической линии. На рис. 10.1, *Б* показана зависимость потребления ки-

---

Рис. 10-1. Коэффициент корреляции и регрессия.

А. Зависимость расстояния, проходимого звуком в воздухе, от времени. Все точки лежат на прямой линии.

Б. Потребление кислорода человеком в покое как функция веса тела. Точки в целом расположены вдоль прямой линии, хотя и несколько разбросаны. Коэффициент корреляции, отражающий эту взаимосвязь, равен 0,60.

В. Рост сыновей, отложенный против роста их отцов. Видно, что сыновья высоких отцов тоже проявляют тенденцию быть выше среднего; коэффициент корреляции меньше, чем в случае *Б*, и равен 0,51.

Г. График, на котором отложены средние значения роста сыновей при разном росте отцов. Средние ложатся гораздо ближе к прямой линии (показанный коэффициент корреляции рассчитан по всем точкам графика *В*). Если бы рост сыновей всегда был равен росту их отцов, то наклон прямой был бы равен 1; на самом же деле он равен 0,5. Стрелки указывают, что в среднем рост сыновей “регрессирует” к среднему для популяции.

слорода человеком в покое (уровня основного обмена) от веса тела. Как можно было ожидать, при большем весе человек использует в среднем больше кислорода в минуту, но из этого правила есть множество исключений, и поэтому точки довольно сильно разбросаны вокруг прямой. По этой причине такой график называют диаграммой разброса.

Гальтон столкнулся с этой проблемой, изучая наследуемость роста. Его пары данных включали рост родителя и рост потомка. Понятно, что такой материал может быть представлен на двумерном графике (диаграмме распределения). Если между ростом родителей и детей нет никакой связи, точки распределятся случайным образом, а если между этими величинами существует строгая прямая пропорциональность, они будут лежать на прямой линии. На самом деле Гальтон получил промежуточный результат: все точки лежали внутри эллипса с длинной осью, наклоненной вправо (рис. 10-1, *В*). Такое распределение означает, что по росту дети проявляют тенденцию походить на своих родителей, но из этого правила есть много исключений. Гальтон попытался выразить эту тенденцию количественно.

Общее уравнение прямой линии выглядит так:

$$y = b + mx,$$

где m — наклон, а b — значение y при $x = 0$. Если передвинуть начало координат к средним значениям, b будет равно нулю, и мы получим более простое уравнение прямой:

$$y = mx.$$

Наклон этой прямой говорит нам о том, в какой мере рост отцов в среднем влияет на рост их детей. Если наклон y/x равен $1/2$, то это означает, что потомки отклоняются от среднего значения для популяции вдвое меньше, чем их отцы. Примерно такие результаты и получил Гальтон.

Мы можем определить наклон прямой, откладывая на графике данные для отцов определенного роста против роста их сыновей, как это сделано на рис. 10-1, *Г*. Все точки в этом случае лежат намного ближе к прямой линии, но некоторый разброс все же наблюдается, и в целом это не лучший способ.

Наша задача — построить линию, которая проходила бы как можно ближе ко всем точкам, и слова “как можно ближе” имеют здесь строго определенный смысл.

Построение линии по точкам. Как бы мы ни проводили линию (кроме случаев точной пропорциональности), некоторые точки на нее ложиться не будут. При выборе “наилучшей” линии

учитывают не сумму отклонений всех точек от данной линии, а сумму квадратов отклонений. Рабочее определение линии, наилучшим образом отражающей совокупность точек, такое: это та линия, для которой сумма квадратов отклонений отдельных точек будет наименьшей. О линии, построенной в соответствии с этим правилом, говорят, что она найдена по "методу наименьших квадратов".

Решение задачи методом наименьших квадратов кажется довольно сложным, но в действительности вычисление наклона прямой производится весьма просто. Прежде всего находят среднее для всех x (например, для роста родителей) и всех y (для роста потомков). Если мы обозначим отклонение от среднего для каждого единичного случая x и y как d_x и d_y, то наклон m "наилучшей" линии можно вычислить по формуле:

$$m_{y \text{ или } x} = \frac{\Sigma(d_x d_y)}{\Sigma(d)^2_x}.$$

Символ Σ означает "сумма".

Наклон линии наилучшего совпадения называют коэффициентом регрессии. Эта линия позволяет предсказать по данному значению x наиболее вероятное значение y. Отрицательная величина m указывает на обратную пропорциональность: когда одна величина возрастает, другая уменьшается.

Коэффициент регрессии — вещь очень полезная, но сам термин кажется непонятным. Его ввел Гальтон, когда использовал этот метод, чтобы определить, в какой мере сыновья "регрессировали" (т. е. приблизились к среднему показателю для популяции в целом) по сравнению с их отцами, и с тех пор этот термин вошел в употребление.

Корреляция. Коэффициент регрессии m, т. е. наклон линии наилучшего совпадения, в какой-то мере сходен со средней величиной: он указывает, насколько в среднем одна переменная изменяется с изменением другой переменной. А коэффициент корреляции, который всегда обозначают буквой r, служит мерой разброса. Он указывает, насколько выражена эта тенденция к изменению одной переменной при изменении другой. Когда зависимость полная, т. е. когда все точки на диаграмме разброса попадают на одну линию, $r = 1$, а если зависимости между x и y нет, то $r = 0$.

Коэффициент корреляции вычисляют по формуле

$$r = \frac{\Sigma d_x d_y}{\sqrt{\Sigma d_x^2 d_y^2}},$$

где d — отклонения от средних арифметических для x и y.

Нелинейные отношения

Коэффициент корреляции используется в самых разных областях, например в физике, психологии, медицине и экономике, для того, чтобы выяснить, связаны ли между собой какие-то две переменные величины. Такими величинами может быть урожай пшеницы и рыночные цены на нее, курение и рак, образование и доходы и т. п. Однако вычисление этого коэффициента не должно служить для замены осмысленного подхода к решаемой задаче. Многие карманные калькуляторы сегодня без труда проведут расчеты для пар данных и вычислят вам коэффициент корреляции; это может быть очень полезным, но только в том случае, если вы представляете себе, что будут означать получаемые цифры.

Нужно всегда помнить, что при подборе прямой, отражающей совокупность точек, мы предполагаем, что реальное отношение, которому эти точки соответствуют, достаточно близко к линейному, т. е. зависимость может быть выражена уравнением первой степени. В принципе же, пользуясь этим приемом, мы можем построить график для любого набора точек и в конечном счете получить абсолютно бессмысленный результат. Так, например, вес тела у рыб (но не у человека) увеличивается как куб его длины; и если мы попытаемся оценить вес рыбы по ее длине, пользуясь линейным отношением, то это приведет к грубой ошибке.

Работы Гальтона по наследственности не дали особо выдающихся результатов, хотя он пытался узнать как можно больше. Оказалось, что многие признаки наследуются сходно с ростом у человека. Например, ширина тела у тлей наследовалась по тому же закону, и даже величина коэффициента регрессии была близкой. Гальтон изучал также наследование окраса у чистокровных такс и многие другие вещи, но всегда с помощью одних и тех же методов. В конечном счете это позволило ему сформулировать "закон передачи признаков от предков", согласно которому потомство в среднем наследует по 1/4 признаков от каждого из родителей, по 1/16 от дедушек и бабушек и так далее. Все это верно, но не особенно информативно. Поскольку этот "закон" говорил в пользу "промежуточной наследственности", он ничем не мог помочь Дарвину в преодолении трудности, на которую указывал Дженкин. И все же упорное стремление Гальтона использовать количественные подходы в биологии сыграло очень важную роль и дало сильный толчок развитию статистических методов.

Пример Гальтона, однако, показывает, что даже правильное обращение с численными данными не всегда обеспечивает реальные успехи в науке. Важнее взглянуть на проблему с новых по-

зиций, но к этому нельзя прийти каким-то "стандартным" путем, запрограммированным заранее. Только в сочетании с таким новым подходом к проблеме количественные методы демонстрируют свою полезность.

Хотя главным вкладом Гальтона в науку стала биометрия, сегодня он, пожалуй, больше известен как основатель направления, называемого "позитивной евгеникой". Ее приверженцы хотели бы улучшить человеческую расу путем селективного скрещивания лучших ее представителей. Понятно, что это не прибавило ему поклонников среди тех, кто не надеялся попасть в заветный список. Когда в 1911 г. Гальтон умер, он оставил средства для организации кафедры евгеники в Лондонском университете. Очевидно, на него сильно повлияло собственное родословное древо, которое, подобно музыкальной семье Бахов и семье Эйлеров, давшей ряд выдающихся математиков, включало много высокоодаренных людей. Возможно, он несколько преувеличивал роль генетического компонента в интеллектуальных достижениях, поскольку считал, как и его кузен Чарлз Дарвин, что от факторов среды зависит очень немногое.

Что касается Альфреда Уоллеса, то после 1858 г. он не сделал в науке ничего особо значительного, а его взгляды по другим вопросам не способствовали его популярности в научной среде. Хотя он и не был верующим, он стал поклонником спиритизма, для которого, как он полагал, были фактические, а не религиозные основания. Вакцинацию он считал опасным и бесполезным занятием, выступал за национализацию земли. Вообще он, кажется, любил отстаивать непопулярные идеи; его автобиография — интереснейший источник сведений о социальной жизни ранневикторианской Англии, особенно низших классов. В отличие от Чарлза Дарвина, он не получил титул сэра, хотя и был награжден орденом и пожил достаточно, чтобы быть свидетелем революции в науке, происшедшей после 1900 г. — появления квантовой физики, теории относительности и переоткрытия законов Менделя. Он умер незадолго до 1914 г., который многие называли "годом крушения цивилизации"; но они ошибались: этот год был вступлением в новый век, который доказал, что Чингисхан был человеком, родившимся раньше своего времени.

9—305

Глава 11

Сад "божьего человека"

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. В 1868 г. Грегор Мендель в опытах со скрещиваниями показал, что наследование не имеет, как тогда считали, промежуточного характера — признаки передаются дискретными частицами, которые мы сегодня называем генами. Так было снято основное возражение против теории Дарвина.

У диплоидных организмов, к которым принадлежит и горох, и человек, каждому признаку соответствуют два гена. Они могут быть либо точными копиями, либо вариантами (аллелями) друг друга. От каждого из родителей потомок получает по одному такому гену. Эти генетические факторы (гены) содержатся в небольших тельцах, хромосомах, находящихся в клеточном ядре.

Хотя работа Менделя была написана исключительно ясно и с научной точки зрения была настоящим шедевром, до 1900 г. о ней никто ничего не знал. В 1900 г. три независимых исследователя одновременно своими опытами подтвердили полученные им результаты. Только завершив работу, они узнали, что их опередил Мендель.

В 1902 г. лондонский врач А. Гэррод показал, что действие по крайней мере некоторых генов состоит в контроле активности ферментов, но на его работу тоже не обратили внимания. Представление о том, что гены содержат информацию, необходимую для построения белка ("один ген — один фермент"), утвердилось лишь после 1945 г.

Как уже говорилось, теория эволюции путем естественного отбора, во многих отношениях весьма убедительная, с самого начала имела один дефект, казавшийся неустранимым. Если наследственность, как тогда полагали, была "промежуточного" типа, то естественный отбор по вновь возникающим признакам был бы неэффективным. Это затруднение можно было игнорировать или умалчивать о нем, но от этого оно не исчезало, и Дарвин хорошо знал о его существовании. Его сын Фрэнсис Дарвин вспоминал, что отец считал это самым сильным возражением против

его теории, и (что может нам показаться удивительным) далее писал: “...весьма примечательно, что с критикой выступил не специалист-естествоиспытатель, а профессор инженерных наук” (Дженкин).

Несмотря на эти затруднения, помощь все же пришла, хотя Дарвину не суждено было об этом узнать. В прямых экспериментах было показано, что наследственность — по природе своей не промежуточная, а потому и возражения Дженкина не имеют силы.

Грегор Мендель

В 1850 г., за восемь лет до того, как Дарвин и Уоллес представили свои работы по эволюции на заседании Линнеевского общества в Лондоне, Грегор Мендель, монах из августинского монастыря в Брюнне[1)], попытался получить свидетельство на право преподавать естественные науки, но не смог сдать экзамен. Поняв, что он плохо подготовился к испытаниям, Мендель поступил в университет в Вене, где учился четыре семестра. Под руководством отличных преподавателей от занимался там математикой, биологией, химией и физикой. Затем он вернулся в Брюнн и стал в своем саду выращивать горох. У биологов это растение занимает особое место среди всех культивируемых видов. Опыты, поставленные на горохе, с видимой легкостью и изяществом помогли установить природу наследственности, а менее чем через сто лет знание механизма наследования признаков позволило понять физико-химические основы самой жизни. Но именно простота и изящество работы Менделя, возможно, и помешали ей убедить биологов в его правоте при его жизни — очень уж она отличалась от увесистых трудов самого Чарлза Дарвина — героя того времени — и больше походила на краткую и содержательную работу Уоллеса, в которой вся суть излагалась на нескольких страницах.

“Мое время непременно придет”, писал Мендель, и оно пришло. Если попытаться в двух словах выразить суть открытия Менделя, то это будет звучать так: наследование носит не “промежуточный”, а дискретный характер. Родители обладают множеством парных факторов наследственности, которые мы сегодня называем генами, и по одному гену из каждой пары они передают потомкам. Менделю удалось доказать это в серии логично поставленных опытов по скрещиванию.

[1)]В то время в Австро-Венгрии; теперь это город Брно в Чехии.

1. В распоряжении Менделя были различные линии, или разновидности, гороха с сильно контрастирующими признаками. Так, например, растения одной линии были высокими, а другой — низкими или даже карликовыми. Это простое обстоятельство давало ему большое преимущество перед такими исследователями, как Дарвин, которые пытались анализировать целые комплексы менее четких признаков, например окраску оперения голубей или общую "силу роста" растений.

2. К этому времени был неплохо изучен половой процесс у растений, и Мендель мог проверять "чистоту" используемых им в работе линий методом самоопыления, т. е. путем опыления цветков собственной пыльцой. Он нашел, что высокие растения при самоопылении давали только высокое потомство, а карлики — карликов:

P_1	Высокие	P_1	Карликовые
	↓ (самоопыление)		↓ (самоопыление)
F_1	Все потомство высокое	F_1	Все потомство карликовое

Для удобства разные поколения здесь обозначены так: P_1 — родительское (от лат. parentes — родители), а F_1 — первое поколение потомства (от лат. filialis — сыновний, дочерний), хотя сам Мендель такие символы не применял.

После самоопыления растений F_1 из полученных семян также получались либо высокие растения, либо карлики, и так во всех последующих поколениях — F_2, F_3 и т. д. Таким образом, эти линии были "чистыми", в том смысле, что при самоопылении они давали единообразное потомство.

3. В следующей серии опытов Мендель скрестил высокие растения с карликовыми:



В потомстве все растения оказались высокими*, такими же, как их высокий родитель. Звездочка здесь указывает лишь на то, что среди их предков были карликовые формы. Таким образом, при скрещиваниях высокий рост, по заключению Менделя, *доминировал* над низким, который был в этой паре подавляемым, или *рецессивным*, признаком. Эти два термина используются и сегодня.



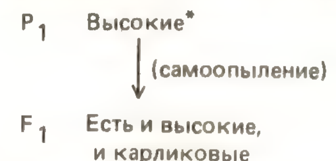
Рис. 11-1. Высокое и карликовое растения гороха. Соответствующие линии по этому признаку резко отличаются друг от друга. В тех линиях, которые изучал Мендель, средняя высота растений составляла 6 футов и 1,5 фута.

Отметим, что признак "высокий рост" у гороха вел себя отлично от этого признака у лондонцев в исследованиях Гальтона. В популяциях гороха этот признак не дает разброса вокруг единственного среднего значения: таких средних два, и они сильно различаются, так как одна линия представлена растениями высотой около 45 см, а другая около 150 см (рис. 11-1). Любое растение может быть безошибочно отнесено либо к высокой, либо к карликовой линии. Низкие растения гороха мы называем здесь карликовыми, чтобы подчеркнуть, что они более схожи с людьми-карликами, чем просто с низкорослыми членами обычной популяции.

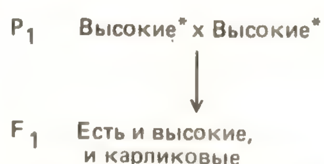
4. Сходные результаты получали и другие ученые, но Мендель впервые задался вопросом, который по сегодняшним меркам мо-

жет показаться тривиальным, но который до него никто четко не ставил и по крайней мере не изучал в эксперименте. Поскольку высокие* гибриды от скрещивания высоких растений с карликовыми имеют одного карликового родителя, но тем не менее сами они все высокие, не означает ли это, что они совсем утратили наследственный фактор карликовости, полученный от этого родителя? Или же фактор присутствует у них в какой-то неявной, скрытной форме? Иными словами, суть вопроса заключается в том, "чистые" они по этому признаку или помесные.

Для ответа на этот вопрос Мендель получил потомство от самоопыления высоких* растений и нашел следующее:



Тот же результат может быть получен, если скрестить разные высокие* растения:



Из этого ясно, что высокие* растения несут в себе в скрытой форме фактор карликовости.

5. Мендель сделал и следующий шаг. Он заметил, что самоопыление высоких* растений дает в потомстве не просто "некоторое количество" высоких и карликовых растений, но между теми и другими наблюдается строгое и простое численное соотношение. Выход разных растений был таким:

P_1 Высокие*

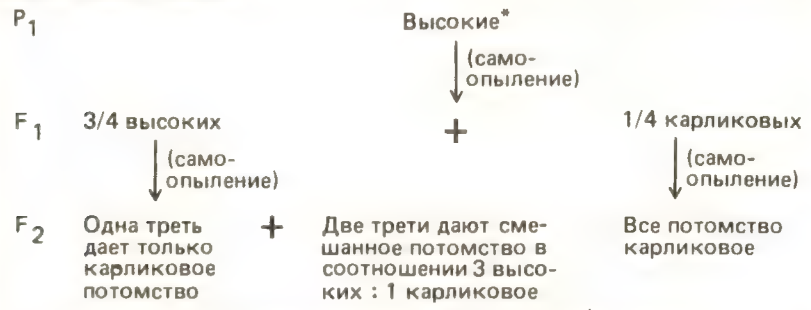
↓ (самоопыление)

F_1 Высокие и карликовые
в соотношении 3:1

Отношение высокие : карликовые = 3 : 1 не означает, что каждое четвертое растение обязательно будет карликом. Оно просто указывает, что во множестве таких скрещиваний среднее отношение между теми и другими будет 3:1, точно так же как после многократного подбрасывания монеты отношение орел/решка при-

ближается к соотношению 1:1. Как мы вскоре увидим, Мендель прекрасно понимал, что между двумя примерами есть нечто большее, чем простая аналогия.

6. Продолжив опыты, Мендель попытался выяснить, являются ли "чистыми" высокие и карликовые растения F_1. Он взял побольше таких растений и провел самоопыление. Результаты этого опыта были такими:



Modus operandi (образ действий) Менделя был таким:

1) опыт начинается с чистых линий, различающихся по одному контрастному признаку;

2) проводится межлинейное скрещивание;

3) определяется численное соотношение признаков в потомстве;

4) путем самоопыления выясняется, "чистое" ли это потомство по изучаемому признаку, а если нет, то определяется количественное соотношение "чистых" и "нечистых" линий;

5) эти операции при необходимости могут продолжаться и в последующих поколениях.

Полученные результаты ясно показали Менделю, каков основной механизм наследования признаков.

А. Каждое растение гороха несет по две копии фактора, определяющего рост в высоту. Этот фактор, который мы сегодня называем *геном*, может существовать в двух альтернативных формах (современное название которых — *аллели*): T и t. Генетическая конституция растения, таким образом, может быть TT, Tt или tt. Аллель T доминирует над аллелем t, так что по внешнему виду формы TT и Tt одинаково высокие и только tt — карлики. Сегодня мы называем генетическую конституцию *генотипом*, а комплекс признаков — *фенотипом*. Так, если по фенотипу растение высокое, то по генотипу оно может быть либо TT, либо Tt. Мендель в своих работах эти термины еще не использовал.

Б. Мендель называл линию "чистой", когда оба гена у нее представлены одним и тем же аллелем, например TT или tt. Сегодня

вместо того, чтобы называть их “чистыми”, мы говорим “гомозиготные” (от греч. “гомос” — одинаковый). Если же имеются два разных аллеля, например, Tt, такую форму называют “гетерозиготной” (от греч. “гетерос” — разный).

B. При образовании гамет (яйцеклеток или спермиев) каждая из них получает лишь один из двух генов пары, и каждый из этих генов попадает в половину всех гамет. Если индивидуум гетерозиготен (Tt), образуется равное число гамет двух типов — с аллелем T и с аллелем t. Поскольку оплодотворение — процесс случайный, возможны любые комбинации генетического материала яйцеклеток и спермиев. При достаточно большом числе случаев оплодотворения частота гамет типов T и t будет одинаковой. Эту закономерность удобно демонстрировать следующим образом.

Построим квадрат, называемый решеткой Пеннета (по имени одного из ранних генетиков), и разделим его на четыре меньших квадрата. Вертикальные ряды будут соответствовать разным типам спермиев, а горизонтальные — разным типам яйцеклеток. На пересечениях тех и других рядов окажутся возможные сочетания гамет при оплодотворении (и соответственно генотипы получаемого потомства):

Спермии:

Яйцеклетки:	T	t
T	TT	Tt
t	tT	tt

В табличке показаны результаты скрещивания $Tt \times Tt$. Подсчитав число потомков каждого из четырех типов, мы получим соотношение $1TT : 2Tt : 1tt$. Всего будет три генотипа, но, поскольку T доминирует, — только два фенотипа. Поэтому в итоге окажется три высоких растения на одно карликовое, т. е. менделевское отношение 3:1.

В этой решетке Пеннета каждому квадратику соответствует четверть всего потомства ($1/4$ — это произведение $1/2 \times 1/2$, т. е. произведение вероятностей получить тот или иной ген от одного родителя и тот или иной ген от другого). Квадрат Пеннета не обязателен для расчета генетических отношений, но он удобен, так как позволяет упростить операции, подобно тому как правила алгебры упрощают расчеты. Прямой алгебраический путь получения того же результата — раскрытие бинома $(p+q)^2$: если частота гена T равна p, а частота гена t равна q, причем $p + q = 1$, то частоты генотипов будут соответствовать членам разложения этого бино-

ма, т. е. $p^2 + 2pq + q^2$. (В нашем случае, где $p = \frac{1}{2}$ и $q = \frac{1}{2}$, это будет $\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} + \frac{2}{4} + \frac{1}{4}$).

Законы Менделя универсальны

Для того чтобы показать, что законы Менделя оправдываются не только в опытах на горохе, рассмотрим наследование групп крови M и N у человека. Поскольку результаты его указывают на механизм, идентичный описанному Менделем для гороха, мы получаем убедительное доказательство общности этого механизма для всех живых существ[1)].

Клеточные мембраны эритроцитов содержат множество белков. Среди них есть и гликопротеины, т. е. белки с присоединенными к ним молекулами углеводов. Примером таких белков могут служить белки слизистых веществ яичного белка и слюны. Они способны вызывать образование антител, и те из них, которые входят в состав эритроцитов, называются веществами групп крови.

Один из белков встречается у человека и высших обезьян в двух вариантах — M и N. Образование этих двух веществ контролируется двумя аллелями одного и того же гена, L^{M} и L^{N}. Эритроциты любого гомозиготного человека $L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}}$ несут только гликопротеин M, т. е. принадлежат к группе M, а гомозиготы $L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}}$ имеют группу крови N. Эритроциты гетерозигот с генотипом $L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}}$ несут оба гликопротеина и принадлежат к группе MN.

Наследование этих признаков осуществляется точно так же, как у гороха. Если оба родителя имеют генотип $L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}}$, то оба производят гаметы L^{M} и L^{N}, и в результате мы получаем:

$$L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}} \quad \times \quad L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}}$$

$$\downarrow$$

$$1\,L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}} \;:\; 2\,L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}} \;:\; 1\,L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}}$$

Соотношения фенотипов здесь не совсем такие, как в рассмотренном выше случае у гороха, поскольку у гетерозигот проявляются оба аллеля одновременно и в результате можно различить три фенотипа — M, MN и N (1:2:1).

Ген представляет собой последовательность нуклеотидов ДНК, а аллели — варианты этой последовательности. Если оба аллеля активны, то оба они экспрессируются в гетерозиготе. Так как ну-

---

[1)] Кроме прокариот. — *Прим. ред.*

клеотидов в гене много, возможно множество вариантов их последовательности, а значит, и аллельных вариантов гена. Известны, например, десятки аллелей гена, определяющего окраску шкурки у грызунов, и в принципе число их должно определяться возможными вариантами аминокислотных последовательностей в белке, который кодируется данным геном (а это число астрономически велико). На практике, однако большинство аллелей можно объединить в одну группу, так как они дают одинаковый фенотип, обусловленный тем, что соответствующий белок неактивен или вообще не образуется.

Физическая основа наследования по Менделю

Хотя Менделю это не было известно, открытые им законы наследственности имеют простую физическую основу. Гены в нитевидных молекулах ДНК находятся в небольших тельцах клеточного ядра, называемых *хромосомами*. Число хромосом у разных видов неодинаково: у человека их 46, у плодовой мушки 8, а у некоторых растений может быть 100 и более. Во всех клетках тела хромосомы парные. Вот как можно представить хромосомы плодовой мушки (дрозофилы):

I	II	III	IV
A	b	C	D
a	B	b	D

Буквами A, B, C, D обозначены здесь локусы (места расположения) каких-то четырех генов. Эти гены могут быть представлены на двух парных хромосомах либо разными аллелями, например Aa, либо одинаковым аллелем (DD).

Такой набор хромосом (в данном случае их 8) называется *диплоидным*, т. е. двойным, и обозначается как $2n$. Число пар равно n — это *гаплоидное* число, т. е. половинное (от греч. "гаплос" — половина).

Хромосомы могут перемещаться и при клеточном делении распределяться между дочерними клетками поровну в полном соответствии с выводами Менделя о передаче наследственных факторов. Известно два типа такого распределения: один характерен для клеток тела и называется *митозом*, а другой — *мейоз* — происходит при образовании половых клеток, или гамет.

Митоз

При подготовке клетки к делению происходит репликация ДНК, затем все хромосомы расщепляются вдоль по оси и образовавшиеся дочерние хромосомы временно остаются друг около друга. После этого хромосомы выстраиваются в одной плоскости, и, когда все готово, тончайшие нити, прикрепленные к ним, растягивают две хромосомы каждой пары к противоположным полюсам клетки. Потом клетка делится посередине между полюсами (рис. 8-3), и в результате образуются две новые клетки, каждая из которых содержит по одному полному (диплоидному) набору хромосом. Этот тип клеточного деления называется митозом.

Все клетки, образующиеся в результате митоза, генетически идентичны, так как в каждой их паре ДНК каждой хромосомы является точной копией ДНК соответствующей хромосомы другой клетки. Все потомство одной клетки, размножившееся путем митоза, называется *клоном*. Таким образом, все клетки, будь то клетки человеческого тела или растения капусты (за исключением половых), образовавшиеся путем митоза, представляют собой один клон, и вся содержащаяся в их ДНК генетическая информация идентична. Это обстоятельство широко используется на практике. Например, землянику размножают “усами” (побегами), т. е. вегетативным способом, при котором происходят только митозы, так что генетическая конституция растений остается неизменной. В случае полового размножения (через семена) менделевское расщепление потомства разрушало бы уникальные родительские комбинации генов. Интересный пример образования двух организмов, принадлежащих к одному клону — однояйцовые близнецы у человека. В этом случае оплодотворенная яйцеклетка на самом раннем этапе развития делится, и из нее развиваются два эмбриона. Так как оба они сформировались в результате митозов из одной клетки, генетическая информация в них совершенно одинакова.

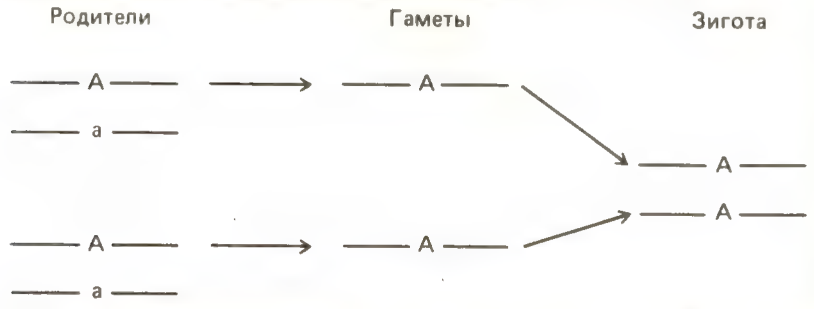
Половое размножение и мейоз

Для полового размножения образуются специальные клетки — яйцеклетки и спермии. Их называют *гаметами*. В каждой из них n хромосом, половина от их числа в клетках тела. Число это не случайное: в них содержится по одной хромосоме из каждой пары хромосом диплоидной клетки. При оплодотворении гаметы сливаются и образуют одну клетку — *зиготу*, содержащую $2n$ хромосом. Такая клетка способна делиться далее путем митоза, в результате чего формируется многоклеточный организм.

Гаметы образуются из диплоидных клеток в результате *редукционного деления*, или *мейоза.* В самых общих чертах мейоз можно описать следующим образом. Он начинается с диплоидной клетки, имеющей $2n$ хромосом. Хромосомы делятся один раз, а сама клетка делится дважды. В результате мы получаем:

$$\begin{array}{ll} \text{Хромосомы} & 2n \times 2 = 4n \text{ хромосом} \\ \text{Клетки} & 1 \times 2 \times 2 = 4 \text{ клетки} \end{array}$$

Таким образом, в конце второго мейотического деления в четырех клетках содержится $4n$ хромосом, т. е. в каждой клетке n — гаплоидное их число. Количество хромосом на клетку уменьшается вдвое. Из этих гаплоидных клеток и формируются половые клетки, или гаметы. Подчеркнем, что в каждой гамете набор из n хромосом содержит по одной копии каждой хромосомы, но какая из двух хромосом данной пары попадает в гамету — дело случая. Если родители гетерозиготны (Aa), то при образовании гамет и зигот возможен, например, такой вариант:



Если встретятся гаметы $A+a$, или $a+a$, то соответственно образуются зиготы Aa или aa. Вероятность попадания в зиготу хромосомы с каким-либо из аллелей от каждого из родителей равна 1/2, поэтому частоты различных зигот при скрещиваниях $Aa \times Aa$ будут $(1/2 \times 1/2)AA + (1/2 \times 1/2)Aa + (1/2 \times 1/2)Aa + (1/2 \times 1/2)aa$, т. е. $AA + 2Aa + aa$, что и получил Мендель. Это в точности соответствует вероятности получения двух решек, решки и орла или двух орлов при одновременном подбрасывании двух монет, и причины здесь одинаковы.

Образование обоих видов гамет — яйцеклеток и спермиев — происходит в принципе одним и тем же способом, однако спермии невелики и обычно подвижны, тогда как женские гаметы могут получать от особых клеток дополнительное питание и потому достигать очень крупных размеров. Это обеспечивает запас материалов, необходимых для начальных стадий развития эмбриона. Самые

крупные яйцеклетки у рептилий и птиц, они содержат огромные количества питательных веществ в форме желтка. У млекопитающих в ходе эволюции яйцеклетки снова уменьшились, так как зародыш получает питание от матери.

Судьба работы Менделя

Выяснив, что изученные факторы (гены) действительно передаются потомкам независимо друг от друга, Мендель на этом и остановился. Его статья на эту тему настолько безупречна, что, по словам статистика Р. Фишера, воспринимается не как простое описание экспериментов, а скорее как теоретическая лекция, иллюстрируемая опытным материалом. Быть может, даже хорошо, что он не пошел дальше: впереди были большие трудности, связанные уже не с самой наукой, а с психологией ученых.

Мендель опубликовал свои результаты в 1886 г. в трудах Общества естествоиспытателей г. Брюнна. Журнал этот был не слишком известный, но многие библиотеки им располагали. Например, в Лондон были посланы два экземпляра. Не следует забывать, что лавина публикаций, столь характерная для нашего времени, тогда была узким ручейком. Даже в 1950 г. ученый еще мог читать или хотя бы внимательно просматривать практически все важнейшие публикации, например, по биохимии, что сегодня физически невозможно. В 1866 г. следить за всей литературой труда не составляло. К сожалению, никто и знака не подал, что ознакомился со статьей Менделя, хотя в реферативном журнале и появилось не совсем точное ее резюме, которое, кстати, позволило переоткрыть работу 34 года спустя.

Впрочем, Мендель переписывался с известным ботаником Нэгели, интересовавшимся проблемой наследственности, но тот оказался совершенно неспособным оценить сделанное Менделем. Нэгели поддерживал переписку, так как занимался изучением ястребинок (*Hieracium*), с которыми также работал Мендель. Письма Нэгели были не слишком обнадеживающими, и опыты с *Hieracium* давали для этого основание: на ястребинках Мендель не смог воспроизвести результатов, полученных с горохом. Характер наследования признаков был совсем иной — потомство не расщеплялось. Причина этого, как мы теперь знаем (но о чем не подозревали ни Нэгели, ни Мендель), заключается в том, что ястребинки обычно дают семена без оплодотворения, так что скрещивания фактически не происходит.

Нэгели упорно не упоминал работ Менделя в своих статьях —

даже в критическом плане, как будто стараясь не привлекать к ним внимание. Правда, в этом была доля вины самого Менделя: хотя опыты с ястребинками кончились неудачей, Мендель опубликовал их результаты, а когда ему удалось показать, что ночная красавица (*Mirabilis*), кукуруза и левкои ведут себя в скрещивании так же, как горох, эти данные он не отдал в печать и о них известно только из его переписки. Между тем такие подтверждающие факты могли привлечь к себе внимание ученых. Из всего того, что нам известно, складывается впечатление, что Менделю были в общем-то безразличны отклики на его работу. Опубликовав свой главный труд, он посчитал свой долг исполненным: если на нее не обратили внимания, то тем хуже для читателей, а не для автора.

Это трудно понять другим, не столь скромным ученым, для которых самореклама не менее важна, чем сама работа. Им хватает скромности не покупать газетных страниц для самовосхваления, но они частенько собираются вместе и в узком кругу хвалят друг друга. Мендель к таким кружкам не принадлежал, так что хвалить его в научном сообществе было некому, но на месте он пользовался заслуженным уважением. В 1868 г. его избрали настоятелем монастыря, где они жил, и с 1875 г. он вел тяжбу с имперским правительством из-за церковного имущества. На все это уходило много времени и внимания, и к 1871 г. он практически прекратил занятия наукой. Говорят, что некоторые из выведенных им линий до сих пор растут в Праге. Так или иначе, он был лойяльным членом церкви и хорошим администратором. Умер он 6 января 1884 г., и лишь спустя шестнадцать лет величие его открытия было понято всем миром.

Переоткрытие законов Менделя

В 1900 г. были опубликованы три работы, подтверждавшие открытие Менделя и цитировавшие его статью. Первой была работа Гуго Де-Фриза, профессора из Амстердама. Что касается двух других авторов, то любопытно, что Карл Корренс, немец, был ранее студентом у Нэгели, который так обескуражил Менделя, а третий — австриец Эрик фон Чермак — был внуком профессора, у которого Мендель в Вене изучал ботанику. Все они проводили исследования независимо друг от друга, на разных растениях и, составляя библиографии к своим статьям, обнаружили, что их опередил Мендель.

Таким образом, в определенном смысле можно сказать, что ра-

бота Менделя не явилась шагом, необходимым для прогресса науки. Но это относится и ко всем великим открытиям: если бы не было Ньютона и Эйнштейна, их открытия были бы в последующие годы сделаны другими учеными. К 1900 г. генетика созрела для прорыва, и все три переоткрывателя оказались первыми лишь волей случая. Например, к тому же результату близко подошел англичанин Бэтсон. Корренс писал: "Все то, что к тому времени было открыто и обдумано, настолько облегчило интеллектуальную работу по переоткрытию законов Менделя, что ее и не сравнить с его трудом". Корренс имел здесь в виду накопившиеся данные о поведении хромосом. В то время многие уже видели в хромосомах носителей наследственности, и способ их передачи дочерним клеткам неизбежно должен был подсказать схему наследования, сходную с менделевской. А Мендель о хромосомах ничего не знал!

Начиная с 1906 г. генетика развивалась быстро и непрерывно.

Что такое гены и что они делают?

Для Менделя, да и долгое время после него "наследственные факторы", или гены, как предложил их называть Иогансен, были чисто концептуальными элементами — символами, удобными для того, чтобы, оперируя ими по определенным правилам, предсказывать ожидаемое расщепление потомства. Конечно, и тогда понимали, что им соответствует нечто материальное, но никто не имел ни малейшего представления о том, что это может быть.

Кое-что выяснилось в 1902 г. в результате исследований Арчибальда Гэррода (1857-1936) всего лишь через два года после переоткрытия законов Менделя. Вернее даже сказать "выяснилось бы", если бы к работе Гэррода отнеслись с должным вниманием. Но, как и с работой Менделя, этого не произошло.

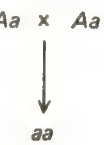
Гэррод был врачом в Лондоне. Его интересовали различные редкие болезни, связанные с нарушением обмена веществ, и среди них — алкаптонурия. В крови содержится гомогентизиновая кислота (называемая также алкаптоном), которая в норме расщепляется следующим образом:

$$\text{Гомогентизиновая кислота} \rightarrow \text{Малеилацетоуксусная кислота} \rightarrow H_2 + CO_2.$$

При алкаптонурии гомогентизиновая кислота не распадается до CO_2 и воды, а переходит в мочу.

Гэррод был знаком с Бэтсоном, который первым в Англии занялся менделевской генетикой, и знал от него о переоткрытии

законов Менделя Де-Фризом, Корренсом и Чермаком. Алкаптонурия — редкое заболевание, но Гэррод подметил, что немногие страдавшие им люди — в основном потомки от близкородственных браков. У родственников сходство по генотипу более вероятно, поэтому Гэррод и Бэтсон быстро сообразили, что алкаптонурия обусловлена рецессивным геном, имеющимся у обоих гетерозиготных родителей:



Гэррод пошел дальше и заключил, что рецессивный аллель блокирует биохимическую реакцию



Это было совершенно верным заключением. Более того, Гэррод предположил, что блокада какой-либо реакции — отнюдь не редкий случай. Альбинизм, например, наследуется у людей так же, как алкаптонурия, и встречается гораздо чаще. В норме пигмент меланин образуется из тирозина, и альбиносы сходны с больными алкаптонурией тем, что у них тоже заблокирована одна из биохимических реакций, а именно



И такое предположение оказалось верным. По существу, это уже было зарождением биохимической генетики.

Открытия и гипотезы Гэррода не прошли бесследно. Первая его статья была напечатана в 1902 г. в журнале "Ланцет", который был (и теперь остается) одним из самых известных медицинских журналов. Гэррод прочел Круновскую лекцию в Королевском об-

ществе, и Бэтсон, один из ведущих генетиков того времени, упомянул об этой работе. Но общая реакция была такой: “Хорошо, пусть это так. Мы знаем, что гены влияют на рост растений, окраску цветков, форму рогов у скота и т. д. Гэррод показал, что они способны также влиять на биохимические реакции. Ну и что?”

Научное сообщество не поняло важности работ Гэррода по простой причине: генетика относилась к области биологии, и генетики не знали и не хотели знать биохимии, которая была частью химии. Биохимики же считали себя химиками, представителями точной науки, и полагали ниже своего достоинства заниматься вопросами биологии, которая точной наукой не является. Хотя биохимики и интересовались катализом, в этом явлении было тогда много таинственного, и о каталитических свойствах белков практически ничего известно не было. Именно поэтому Гэррод был не в состоянии в простой и ясной форме показать сущность “биохимической генетики”, как это мы делаем в наше время. Вот как это выглядит сегодня:



Если ген поврежден, то дефектным будет и фермент, который уже не сможет играть роль катализатора в реакции A → B, т. е. происшедшая в гене мутация ее заблокирует. И все же, хотя Гэррод был очень близок к тому, чтобы сформулировать свои мысли в такой ясной форме, ему это не удалось, и рождение молекулярной генетики мы относим к 1945 г.

Глава 12

Наследование количественных признаков

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Многие признаки, например уровень интеллекта или рост у человека, морозостойкость у растений или молочная продуктивность у коров, частично определяются наследственностью. При этом фенотипы образуют непрерывную градацию, а не распадаются на дискретные классы. При скрещиваниях в потомстве не происходит четкого расщепления по таким признакам. Такого рода наследование мы наблюдаем в тех случаях, когда признак определяется совместным действием нескольких независимо передающихся генов, каждый из которых представлен различными аллелями. По мере увеличения числа генов, влияющих на признак, резкое преобладание у особи аллелей с одинаковой направленностью действия становится все менее вероятным и практически вся популяция приближается к некоему среднему уровню. Роль каждого отдельного гена все уменьшается, и наследование признака все больше приближается к промежуточному типу.

Генетика количественных признаков

Фрэнсис Гальтон пытался выяснить механизм наследственности, применив для этого основательно продуманный количественный подход. Но это ему не удалось, так как он не знал главного — того, что наследственность в основе своей дискретна, или факториальна, а промежуточное наследование — явление вторичное, обусловленное взаимодействием множества дискретных факторов. Верно, однако, что во многих случаях конечный результат выглядит так, как будто все сводится к усреднению родительских признаков в потомстве. Поскольку мы знаем, что на самом деле механизм иной, нужно объяснить, почему нередко может создаваться такое впечатление.

Каждый, кому приходится на практике использовать генетику, знает, что все наследуемые признаки можно разбить на две категории.

С одной стороны, есть признаки с четкими различиями в фенотипе, передающиеся потомству по классической менделевской схеме, как будто они определяются одним или двумя дискретными генами. У одного растения цветки могут быть красными, у другого — белыми, у одного человека группа крови M, у другого — N. Очень часто, хотя и не всегда, на проявление таких признаков среда практически не влияет. На лабораторном жаргоне их называют "хорошими" признаками, а соответствующие гены — "хорошими" генами. "Хорошие" здесь означает, что с ними просто работать. При изучении именно таких генов и признаков была добыта большая часть знаний о механизмах наследственности. Просматривая список подобного рода признаков, мы вскоре убедимся, что "хорошие" для генетика признаки и гены для человека (за исключением генов групп крови) на самом деле плохи: в большинстве случаев речь идет о наследственных болезнях с четким механизмом передачи потомству. У других организмов то же самое. Разнообразные мутации, отобранные в ходе изучения генетики плодовой мушки *Drosophila*, — это в основном наследственные дефекты, такие как деформации крыльев или глаз, утрата пигмента тела и т. п. Мутантные мухи менее жизнеспособны, чем мухи дикого типа.

С другой стороны, есть много признаков, которые можно назвать "количественными": фенотипы здесь не дискретны, а образуют непрерывный ряд с разной степенью проявления какого-то свойства. По этим признакам особи не распадаются на отдельные группы, например высокие — низкие, морозостойкие — неморозостойкие; вместо этого встречаются все промежуточные формы. Кроме того, эти признаки нередко подвержены сильному влиянию окружающей среды.

Признаки, по которым более или менее нормальные особи в популяции отличаются друг от друга, в основном имеют количественную природу и представляют большой практический интерес: сюда относится, например, молочная продуктивность у коров, урожайность пшеницы, уровень интеллекта у людей и многое другое.

Точный механизм наследования таких признаков часто не ясен. Потомство от скрещивания не расщепляется по простым правилам вроде "три высоких растения на одно низкое". Менделю повезло, что горох вел себя именно таким образом (см. рис. 11-1), но Гальтон, изучавший наследование роста у людей, был менее удачлив. Генетика количественных признаков составляет особый раздел науки о наследственности.

На первый взгляд это направление в генетике существенно отличается от менделевской генетики. Вскоре, однако, было показано, что передача количественных признаков — лишь частный

случай обычного наследования по Менделю; видимое отличие связано лишь с тем, что на количественный признак влияет не один ген, а много генов. Примером может быть цвет кожи у человека.

Цвет кожи у человека

Цвет кожи определяется главным образом количеством меланина, с химической точки зрения не очень четко определенным темным пигментом, который синтезируют особые клетки — меланоциты. По количеству меланоцитов в коже популяции человека друг от друга существенно не отличаются, но есть большие различия в том, сколько меланина образует каждая такая клетка. У африканцев и меланезийцев его очень много, а у европейцев и японцев — мало.

Образование большего или меньшего количества меланина определяется четырьмя или пятью генами, действие которых суммируется (точное число таких генов неизвестно; примем, что их четыре). У людей с самой темной кожей имеется восемь (+)-аллелей этих генов (поскольку клетки диплоидные). Эти (+)-аллели вносят приблизительно равный вклад в синтез меланина, и их эффект суммируется, в то время как (−)-аллели в образовании меланина не участвуют.

Конкретный индивидуум может иметь от 0 до 8 (+)-аллелей цвета кожи, поэтому существует 9 классов фенотипов. Теоретически все эти фенотипы должны были бы различаться между собой, но на практике из-за вариаций в пределах каждого класса они перекрываются, создавая иллюзию непрерывной градации признака.

В полностью гомозиготной популяции, имеющей либо только (+)-, либо только (−)-аллели, цвет кожи у всех будет максимально темным или, наоборот, максимально светлым. Представим себе теперь результаты брака между представителями этих крайних типов. Одна из двух сливающихся гамет будет всегда нести 4 (+)-аллеля, а другая — 4 (−)-аллеля, и все потомство будет иметь генотип 4(+)/4(−) и кожу со средней степенью пигментации. Это создает иллюзию промежуточной наследственности.

В известном смысле это даже не иллюзия, поскольку потомство и в самом деле обладает промежуточным цветом кожи. Однако то, что в основе наследования здесь все-таки лежит передача дискретных, альтернативных факторов, выдает следующее поколение, полученное от брака двух таких метисов.

Каждый из таких "промежуточных" потомков гетерозиготен по

всем четырем локусам (генам):

$$\begin{array}{c} + + + + \\ - - - - \end{array}$$

Поскольку в каждую гамету попадает либо (+)-, либо (−)-аллель, то у каждого "промежуточного" индивидуума будут образовываться гаметы пяти разных типов:

$$\begin{array}{ll} 4(+) & + + + + \\ 3(+) & + + + - \\ 2(+) & + + - - \\ 1(+) & + - - - \\ 0(+) & - - - - \end{array}$$

Но каковы будут их частоты?

Предположим, что расщепление по разным локусам происходит независимо. Тогда проблема сходна с задачей подбрасывания четырех монет и подсчета вероятностей выпадения 4, 3, 2, 1 и 0 решек. Вероятность P получения r "успехов", например решек, в n попытках определяется так:

$$P = C(n, r)p^r q^{n-r},$$

где p — вероятность успеха и q — вероятность неудачи. Здесь $p = q = 1/2$, поскольку вероятность выпадения орла и решки равны, и

$$C(n, r) = \frac{n!}{r!(n-r)!}.$$

Для $n = 4$ мы получаем следующие частоты гамет:

r	P
0(+)	1/16
1(+)	4/16
2(+)	6/16
3(+)	4/16
4(+)	1/16

Частоты зигот с разными генотипами вычисляются исходя из частот гамет. В результате мы получим:

Число (+)-аллелей	*Частота зигот*
0	1
1	8
2	28
3	56
4	70
5	56
6	28
7	8
8	1

Наиболее часто встречается промежуточный тип потомства с 4 (+)-аллелями, а реже всего — крайние типы с 0 и 8 (+). Этот тип распределения близок к нормальному, или гауссову.

Хотя чаще всего встречается промежуточный тип 4(+), ясно, что в основе своей наследственность здесь отнюдь не "смешивающая". Мы можем это заключить без каких-либо особых предположений относительно поведения генетических локусов. Достаточно убедиться, что от браков между двумя "промежуточными" индивидуумами рождается некоторая часть потомства очень светлая, а часть — очень темная. Между тем, если мы будем смешивать содержимое разных чашек со смесью кофе и молока, мы в результате никогда не получим даже одной чашки чистого кофе или чистого молока. Именно факт расщепления потомства однозначно показывает, что в основе наследования здесь лежит передача дискретных факторов.

Случаи с четырьмя или пятью такими генами можно изучать стандартными генетическими методами, хотя это и нелегко. С увеличением числа генов нужно использовать другой подход. Признак становится теперь результатом взаимодействия многих факторов, доминантных и рецессивных, из которых одни могут активировать, а другие подавлять действие друг друга. Они образуют своего рода конгломерат, и так как число их велико, каждый из них в отдельности играет все меньшую роль в определении фенотипа. Хотя у разных особей состав этого конгломерата может быть различным, суммарный эффект имеет тенденцию усредняться, так что большинство особей становятся похожими друг на друга. Чем больше число факторов в конгломерате, тем более однотипной будет популяция, тем меньше в ней будет особей, отклоняющихся от среднего фенотипа. Когда число генов велико, наследование приобретает фактически промежуточный, нивелирующий характер, так что и Гальтон был в своих рассуждениях частично прав.

Глава 13

Под знаком саламандры

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. На проявление наследственного признака в большей или меньшей степени влияют и внешние факторы. Относительную долю изменчивости какого-либо признака, определяемую различиями в генотипе, называют "наследуемостью" этого признака.

Приобретенные признаки, например гипертрофия усиленно работающих мышц, двигательные и умственные навыки или телесные увечья, не наследуются в генетическом смысле этого слова, так как они не изменяют структуры носителя наследственности — ДНК.

Если исходить из природы человеческого общества, сходного в своих биологических основах с сообществами других приматов, а также если принимать желаемое зе действительное, то выводы генетиков в применении к человеку могут оказаться и приятными, и неприятными. Обычно люди, которых устраивает нынешнее положение вещей, склонны думать, что признаки человека определяются главным образом генами, "реформаторы" же предпочитают сводить роль генов к минимуму. Это особенно касается мнений о наследуемости умственных способностей. Так как этот вопрос далеко не ясен, от лица генетики иногда выступали разного рода демагоги и шарлатаны, в том числе и фальсификаторы исходных данных.

Наследуемость умственных способностей определить довольно трудно. Судя по имеющимся данным, в большинстве популяций несколько больше половины различий в уровне способностей, оцениваемых тестом IQ, обусловлено генотипом, а остальное — средой. Ясно, что величина IQ может зависеть от взаимодействия многих генов, но кроме этого мы почти ничего не знаем о механизмах ее наследования.

Истины, полезные обществу

Определяя свойства белков, гены делают нас такими, какие мы есть. Но действительно ли делают? Ответы на этот вопрос часто

исходят от поставщиков "социально полезных истин", и существует два их варианта.

1. Одна общественно полезная "истина" такова: хотя гены и могут иметь некоторое значение для анатомии и физиологии, но формирование человека, особенно в отношении психических качеств, в основном определяется средой его существования. Гены имеют к ним лишь косвенное отношение — все зависит от "воспитания".

2. Согласно другой "истине", весь человек, включая его психическую сферу, в основном закодирован в генах, а среда играет очень малую роль. Наше будущее определяется прошлым, т. е. нашим врожденным генетическим наследием. Все зависит от "природы".

Поскольку эти две точки зрения не просто "истины", а "общественно полезные истины", на них не оказывают влияния добытые факты. Мы пойдем обратным путем и посмотрим сначала, каковы факты. Прежде всего, насколько "жестко" все определяется генами?

Наследственность и среда

То, что признаки подвержены влиянию генов и даже определяются ими, очевидно. Без генов нет организма, а потому нет и признаков. Однако во многих случаях на признаки влияет и среда — в том смысле, что если имеется один и тот же набор генов, то конечный результат их работы будет зависеть от среды. В какой мере проявится влияние среды, наперед сказать нельзя: это можно установить только путем опыта и наблюдения.

А. Некоторые признаки всецело определяются генетической информацией: при данном генотипе они проявляются одинаково в любых условиях среды, совместимых с жизнью. Примером таких признаков могут служить группы крови у человека.

Б. Такие признаки, как рост и вес тела у человека, тоже частично зависят от генотипа, но на них сильно влияют также питание и мышечная работа.

В. Болезни в этом отношении неодинаковы. Если есть соответствующий ген, то никакие известные нам условия среды не могут помешать развиваться, например, хорее Гентингтона. Ряд других генов, о которых пока мало что известно, делает организм более восприимчивым к туберкулезу или полиомиелиту. Понятно, однако, что если в среде не окажется возбудителей (бактерий или вирусов) или же будет искусственно создан иммунитет, то болезни эти не смогут развиться даже у генетически предрасположенных к ним людей.

Г. Некоторые культурные навыки, например умение читать, видимо, целиком зависит от среды: ведь читать мы сможем только в том случае, если нас этому научат. Однако нельзя отрицать роль генов в развитии самой способности приобретать навык чтения. Генетическая информация здесь нужна, но ее одной недостаточно — требуется также обучение.

Наследуемость

Проблема наследуемости — это и есть вопрос об относительной роли "природы" и "воспитания" в развитии того или иного признака. Изучая популяцию в определенных условиях среды, мы заметим, что некоторые количественные признаки, например вес тела, у разных особей не одинаковы. Популяция может быть охарактеризована средней величиной признака, m, и разбросом индивидуальных величин, x_i, вокруг средней.

Математической характеристикой этого разброса служит *дисперсия*, σ, которую вычисляют следующим образом. Сначала измеряют отклонения от средней для каждой особи, $m - x_i$. Затем возводят все отклонения в квадрат, чтобы они стали положительными величинами, квадраты складывают и вычисляют их среднее значение, которое называется *дисперсией* (или вариансой), σ:

$$\sigma = \frac{\sum(m - x_i)^2}{n}.$$

Это распределение вокруг среднего значения, т. е. дисперсия, частично зависит от различий в условиях среды. Особь может, например, иметь больший или меньший вес из-за разницы в питании. С другой стороны, особи, получавшие одинаковое количество пищи, могут также различаться по весу из-за того, что у них разные генотипы. Таким образом, величину наблюдаемой, или общей, дисперсии можно подразделить (по крайней мере условно) на две части: генетическую и средовую:

$$\sigma_{\text{общ.}} = \sigma_{\text{генет.}} + \sigma_{\text{сред.}}.$$

К этим компонентам следует еще добавить "факторы взаимодействия" генотипа и среды. Они отражают тот факт, что один генотип может взаимодействовать с определенной средой иначе, чем другой. Генотип A может обусловливать больший вес тела, чем B, в условиях хорошего питания, тогда как при плохом питании возможен противоположный результат. Такое взаимодействие увеличивает общую дисперсию.

Приведем пример, связанный с кормлением коров. На практике фермеры обычно кормят генотипически высокоудойный скот лучше, чем малоудойный. Генотипы молочной продуктивности взаимодействуют со средой (в данном случае это уход и кормление), еще больше увеличивая дисперсию по этому признаку. Таким образом, чтобы отразить все составляющие дисперсии, мы должны написать формулу

$$\sigma_{\text{общ.}} = \sigma_{\text{генет.}} + \sigma_{\text{сред.}} + \sigma_{\text{взаим.}}.$$

Такие уточнения, учитывающие взаимодействие, очень важны в практическом плане, но поскольку мы обсуждаем здесь только главные принципы, о последнем члене этого уравнения говорить не будем.

Теперь мы можем определить наследуемость признака, H, как ту часть общей дисперсии (для всех популяций), которая определяется в генотипах:

$$H = \frac{\sigma_{\text{генет.}}}{\sigma_{\text{общ.}}} + \frac{\sigma_{\text{генет.}}}{\sigma_{\text{сред.}} + \sigma_{\text{генет.}}}.$$

Важно отметить, что наследуемость — не свойство признака или гена, его определяющего, а свойство всей системы. Если наследуемость роста оказалась равной 0,5, было бы совершенно неверно говорить, что половина роста у человека зависит от питания, а другая половина определяется генами. Это лишено смысла, так как без обеих этих половин не было бы и самого человека. "$H = 0,5$" означает лишь то, что половина изменчивости в популяции определяется генными различиями между особями, а другая половина — средой.

Наследуемость зависит, в частности, и от среды. Вспомним пример с молочной продуктивностью. Если все коровы получают оптимальное количество корма и если другие условия среды тоже оптимальны, то различия между коровами будут в основном или даже полностью определяться их генотипами: наследуемость будет полной, равной 1, поскольку в приведенном выше уравнении $\sigma_{\text{сред.}} = 0$. И наоборот, вклад среды может быть очень велик, когда одних коров хорошо кормят и заботятся о них, а других содержат плохо. В этом случае $\sigma_{\text{сред.}}$ будет гораздо больше $\sigma_{\text{генет.}}$ и наследуемость окажется близкой к нулю.

Возьмем другой пример. Когда-то в популяциях человека преобладали люди, больные рахитом. Как правило, причиной этого был недостаток витамина D в пище, т. е. внешний, средовой фактор; поэтому наследуемость рахита была близка к нулю. Сегодня в пище витамина D обычно достаточно, и тем не менее случаи рахита все же встречаются, но не из-за отсутствия витамина, а

по генетическим причинам. В связи с этим наследуемость рахита приближается теперь к единице. Она изменилась практически от нуля до единицы вследствие изменения среды.

Еще одним примером может быть уровень умственных способностей, который, несомненно, зависит как от генов, так и от условий жизни. В обществе, где возможности для развития интеллекта в разных социальных группах неодинаковы, член уравнения $\sigma_{\text{сред.}}$ будет большим, а наследуемость — низкой. Если же условия оптимальны для всех, то большая часть остающихся различий будет зависеть от генов и наследуемость будет высокой.

Оценка наследуемости

Единственное, что в обычных условиях можно точно определить, — это общая дисперсия, но в принципе существует два способа экспериментального ее разделения на генетический компонент и вклад среды. Один способ — это сделать среду одинаковой для всех особей, а другой — обеспечить их генетическую однотипность.

Создание одинаковых условий среды может показаться делом несложным. В этом случае средовой компонент дисперсии был бы сведен к нулю и вся она целиком определялась бы генетическими различиями. В лаборатории в принципе можно приблизиться к таким условиям, но и здесь это нелегко. Дело не только в том, что всем особям надо обеспечить идентичную среду существования. В изменчивости, зависящей от среды, есть компонент, называемый "неуловимым"; возможно, он обусловлен неконтролируемыми случайными событиями, влияющими на развитие и поведение. О существовании этого компонента можно заключить, выращивая генетически идентичные организмы в "совершенно одинаковых" условиях среды: нетрудно бывает убедиться, что, несмотря на все ухищрения, различия между особями все же возникают, иногда весьма значительные.

В большинстве практических ситуаций контролировать условия среды не удается; это в особенности относится к области сельского хозяйства и к изучению генетики человеческих популяций. Тогда приходится осуществлять контроль над генотипами, если, конечно, это возможно. Когда все особи в популяции генетически идентичны, величина дисперсии целиком определяется действием факторов среды. Создать множество генетически однородных растений совсем не трудно, если можно размножать их черенками. С животными это не так просто, но тесный инбридинг (близкородственное скрещивание) позволяет получать линии, на которых иногда можно изучать наследуемость признаков.

Так, например, один ученый использовал метод инбридинга, чтобы выяснить, в какой степени размеры тела у дрозофилы (измеряли длину груди) определяются генетическими факторами и в какой — влиянием среды. Была вычислена дисперсия для смешанной (генетически негомогенной) популяции, и дисперсия для гомозиготной линии. Были получены такие результаты:

Популяция	*Дисперсия*	*Компоненты дисперсии*
Смешанная	0,366	$\sigma_{\text{генет.}} + \sigma_{\text{сред.}}$
Гомозиготная	0,186	$\sigma_{\text{генет.}}$
Различия	0,180	$\sigma_{\text{сред.}}$

Вычтя из общей дисперсии величину дисперсии, зависящей от среды, можно оценить генетический компонент. Оказывается, что $\sigma_{\text{генет.}}$ составляет около половины, т. е. гены и среда влияют на длину груди у дрозофилы приблизительно в равной мере.

Получать генетически однородные популяции людей или крупного рогатого скота практически невозможно (за исключением однояйцовых близнецов). Поэтому применяют иной подход: оценивают, в какой мере родственные индивидуумы более сходны между собой, чем неродственные. Принцип здесь тот же, что и при использовании гомозиготных линий, с тем лишь различием, что в таких линиях все генотипы полностью идентичны, а у родственников только похожи друг на друга. Сравниваются дисперсии для родственников и общей популяции (так же, как и при сравнении с гомозиготными линиями), и с помощью надлежащих математических методов учитывается меньшая степень генетического сходства. Теория, лежащая в основе расчетов, довольно сложна, и мы ее здесь рассматривать не будем.

Приобретенные признаки не наследуются

В прежние времена было широко распространено мнение, что среда влияет не только на проявление наследственных признаков, но и на саму наследственность, т. е. возникшие изменения передаются потомству. Поскольку “подобное порождает подобное” (розы — только розы, а свиньи — только свиней), казалось вполне естественным, что если родитель приобретет какую-то новую особенность (например, сильные мышцы в результате упражнений), то она появится и у детей. Для подтверждения этого проводились даже многочисленные эксперименты. К началу этого века таких попыток стало меньше, но все же о них стоит упомянуть, так как

они оставили о себе весьма примечательные и нередко мрачные воспоминания.

A priori можно было бы предположить, что легче всего будут наследоваться утраты частей тела. Вспомним, однако, что у некоторых народов, например евреев, распространен обычай обрезания, которое практиковали более сотни поколений, но это вовсе не сказалось на размерах крайней плоти. Наконец, в конце прошлого века Вейсманн отреза́л хвосты у 22 поколений мышей, но это не привело к уменьшению их длины у 23-го поколения. Конечно, особой нужды в этом опыте не было, поскольку эффект был куда лучше изучен на примере обрезания. В ответ на замечания критиков были поставлены "более физиологичные" эксперименты: хвосты у мышей укорачивали, выращивая животных на холоде, но наследственным это изменение не становилось.

На основании обширных экспериментальных данных, а также современных знаний о молекулярных основах наследственности, мы можем сегодня сделать общий вывод, что приобретенные признаки не наследуются. Крысы научаются проходить лабиринт, но их потомков приходится учить этому заново; по своей способности приобретать такой навык они ничем не отличаются от потомства нетренированных родителей. Потомки наследуют не знание лабиринта, но лишь способность к обучению, а она не зависит от того, обучались их родители или нет[1].

Наилучшим опровержением теории о наследственности приобретенных признаков служат, однако, сами законы Менделя. У гороха аллели t (или другие рецессивные аллели) могут передаваться в длинном ряду поколений в генотипах Tt, дающих фенотипически высокие растения, но как только аллель t оказывается в гомозиготном состоянии, облик растения радикально меняется: оно становится карликовым.

Почему не наследуются приобретенные признаки?

Главная причина того, что приобретенные признаки не наследуются, — это односторонний характер потока генетической информации: она передается от ДНК к белку, тогда как передача от белка к ДНК невозможна. Изменения фенотипа не сказываются на нуклеотидных последовательностях ДНК. Если человек болен

[1]Мать, больная сифилисом, или наркоманка может родить ребенка с аномальным фенотипом. Происходит это, однако, не потому, что она передает дефектную генетическую информацию, а оттого, что в ее организме создаются неблагоприятные условия для развития плода.

талассемией (одна из форм анемии, связанная с дефектом структуры гемоглобина) и ему переливают кровь, он получает нормальный гемоглобин, но генотип организма при этом не меняется. Человек по-прежнему имеет и может передавать потомству только гены талассемии. В принципе это похоже на ситуацию, когда брюнетка перекрашивается в блондинку: фенотип меняется, а генотип — нет.

В любом случае, поскольку различные воздействия или условия среды не изменяют нуклеотидных последовательностей ДНК в половых клетках, устранение симптомов наследственного заболевания или иное изменение фенотипа никак не влияет на генетические свойства индивидуума: он передает своему потомству неизмененные аллели.

Саламандры

Обо всем этом мы теперь знаем. В 20-е годы, однако, теоретический багаж ученых был гораздо беднее, и австрийскому зоологу Паулю Каммереру в результате опытов показалось, что приобретенные признаки наследуются. Как известно, саламандры способны менять окраску, приспосабливаясь к окружающему фону, вроде того как это делают хамелеоны. Каммерер сначала выращивал их на темном или светлом фоне, а затем получал от тех и других потомство. Оно, по словам Каммерера, было либо светлее, либо темнее — сходное с родителями, хотя выращивали новое поколение на одинаковом фоне. На жабах Каммерер получил еще более четкие результаты. Если он содержал животных постоянно в воде, на их лапках развивались мозоли, сходные с теми, которые характерны для полностью водных видов. Он выяснил, что этот признак не просто наследуется, но и расщепляется в потомстве по законам Менделя. Казалось, это было решающим доказательством.

Но некоторые ученые продолжали сомневаться. Г. К. Нобл изучил часть животных из потомства под микроскопом и обнаружил, что хотя мозоли действительно появились, они были вызваны подкожным введением туши. Он опубликовал эти результаты в научном журнале "Nature" в 1925 г., и вскоре после этого Каммерер покончил с собой. У него была хорошая научная репутация, и до сих пор не ясно, сам ли он виновен в фальсификации или его ассистент, который хотел сделать ему приятное. Как бы то ни было, вопрос перешел в совершенно иную плоскость.

Идеологические мотивы

Весь этот вопрос о передаче приобретенных признаков потомству может показаться внутренней проблемой генетики, которая уже

решена и представляет лишь исторический интерес. В чисто научном плане это действительно так, однако наследование приобретенных признаков и некоторые близкие вопросы генетики приобрели политическую и социальную окраску, которая мешала объективно устанавливать и интерпретировать факты. Причина этого связана с некоторыми особенностями биологии приматов.

В сообществах павианов и большинства других высших обезьян взаимоотношения между особями основаны на принципах доминирования и иерархии. Все члены сообщества принимают участие в поисках пищи и размножении, но главная движущая сила в социальных взаимодействиях — это стремление достичь высокого статуса. В собственных глазах павиан, во всяком случае самец, не обладает внутренним достоинством: он приобретает его в той степени, в какой он поднялся в иерархии и доминирует над другими особями. Существует ряд простых правил, как играть в эти игры, и молодые павианы быстро усваивают их.

Не удивительно, что *Homo sapiens*, принадлежащий к отряду приматов, тоже руководствуется системой оценок, в основе своей очень похожей на ту, которая свойственна павианам. Люди тоже высоко оценивают себя лишь тогда, когда приобретают вес в обществе, который обычно связан с доминированием над другими людьми. В упрощенной форме это особенно хорошо видно на примере подростков, которые беззастенчиво ищут популярности и одобрения. Бывает, что они даже кончают жизнь самоубийством, если им это не удается. У взрослых наиболее явные признаки высокого статуса — политическое влияние и (на втором месте) богатство.

Павианы завоевывают доминирующее положение за счет своего рода "личного обаяния", в котором значительную роль играет грубая сила, но не только она. В человеческих обществах носители королевской власти, власти мандаринов, плутократии, теократии, диктатуры пролетариата и проч. личной физической силой не выделяются. И все-таки они доминируют, так как обществу путем использования языка навязывается определенная идеология, которая как раз и нужна им, чтобы занять господствующее положение. Поскольку доминирование какой-то группы и ее потомства может поддерживаться только до тех пор, пока преобладает их идеология, роль идеологии становится исключительно важной.

Так было всегда, о чем свидетельствуют великие памятники и надписи на стенах египетских храмов. В более близкие к нам времена наибольшее распространение получили идеологии других типов: одни оправдывают доминирующее положение людей, уже находящихся у власти, а другие — обещают такое положение тем, кто его пока не занимает. Именно здесь генетика оказалась замешана в политике.

Идеологи власть имущих надеются и даже верят, что эта власть заслуженна, так как ее носители по природе своей лучше других людей: они больше работают, более умны, образованны и т. п., и все это потому, что они обладают, говоря современным языком, лучшими генами. Доказательством служит то, что они действительно уже многое приобрели и, значит, от природы более способны. Лучшей наследственностью оправдывают также передачу их собственного статуса потомству.

Не обладающие властью надеются и верят, что гены не определяют ничего. Все люди равны, и "обездоленные" — просто жертвы узурпаторов власти. Если, к сожалению, гены все же существуют, то они у всех людей равноценны, если не считать каких-то второстепенных особенностей. Все существенные различия обусловлены разницей в воспитании и условиях жизни. Если дать людям хорошее образование, мы получим новых Архимедов, Ньютонов, Бетховенов и Рембрандтов в каждом городке. Достаточный довод в пользу этого — то, что все было бы лучше, если бы дело обстояло именно так. Поэтому надо менять государственную систему. Если все зависит от среды, то положение можно изменить, так что следуйте за нами!

Приблизительно до 1920-х годов люди, далекие от естественных наук, считали возможность наследования приобретенных признаков само собой разумеющейся. Такое представление служило мощным аргументом в пользу идеологии "обездоленных". Однако этот аргумент постепенно терял свою убедительность. Нужно было что-то делать, и делать быстро, чтобы придать как можно большее значение среде и преуменьшить роль генома. Было бы неудобно считать человека бессловесным рабом генов, а не оптимистическим поклонником идеи революции.

Для идеологов любой окраски действительность — это то, в реальности чего вы убеждаете других, поэтому для изменения биологии человека достаточно провести хорошую агиткампанию. Именно поэтому в Москве был создан фильм "Саламандра". В трогательных тонах он показывал, как Каммерер, друг народа, был обложен со всех сторон, попал в ловушку и был уничтожен силами зла, которые хотели скрыть от людей мысль о том, что приобретенные признаки могут наследоваться. Этот фильм заслужил дурную славу, и не только в СССР; на некоторое время Каммерер стал не менее известен, чем сегодня "пилтдаунский человек"[1].

Хотя случаи прямого обмана (фальсификации эксперименталь-

---

[1]Речь идет об известном случае фальсификации ископаемых останков человека. — *Прим. ред.*

ных данных) в науке событие редкое, весьма обычна тенденциозность в способе представления и оценке данных. Именно поэтому правительства и корпорации легко находят дипломированных ученых, готовых поддерживать любые нужные мнения.

Ученые-догматики, отрицающие генетические основы, нередко говорят, что изучать наследуемость уровня интеллекта не просто сложно, но и технически невозможно. Из этого они делают неправомерный вывод, что наследуемость равна нулю. Часто заявляют также, что изучать наследование умственных способностей — занятие бесполезное, так как результаты не найдут никакого практического применения. В устах ученого это весьма любопытное утверждение. Будь оно справедливым, был бы совершенно непонятен интерес таких ученых ко всей этой проблеме.

При более хитром и радикальном подходе декларируется, что выводы ученых — это вообще не классические дедукции из суммы данных, а всего лишь утверждения в рамках социальной идеологии. "Объективной реальности" не существует, и если бы даже она существовала, было бы нежелательно признавать ее объективность. Наука призвана служить "народу", вере, правительству и т. п., и поэтому она должна давать результаты, соответствующие этим целям. К счастью, такой подход в конце концов приводит к поражению его сторонников. Если бы идеологи смогли убедить людей, что все делаемые кем-либо заключения — всего только уловки, то очень скоро их собственный авторитет оказался бы подорванным. Вспомним слова Эпаменида Критского: "Все критяне лжецы" — слова, явно подвергающие сомнению его собственную правоту. Кроме того, если "социально полезные" концепции вступают в слишком большое противоречие с реальностью, это всем дорого обходится.

Генетика поведения

Темы, вызывающие взрыв идеологических разногласий, — это, конечно, не окраска кожи у саламандр, а такие вещи, как наследуемость умственных способностей у человека, принципов морали и тому подобное. В самом деле, от рождения ли умен или глуп человек? Или же это результат воспитания? Чем определяются преступные наклонности — генами или средой? От ответа на эти вопросы зависит выбор соответствующих мер, которые могли бы быть полезны.

Поведение животного — такая же часть его фенотипа, как и анатомическое строение, так что a priori можно предположить, что

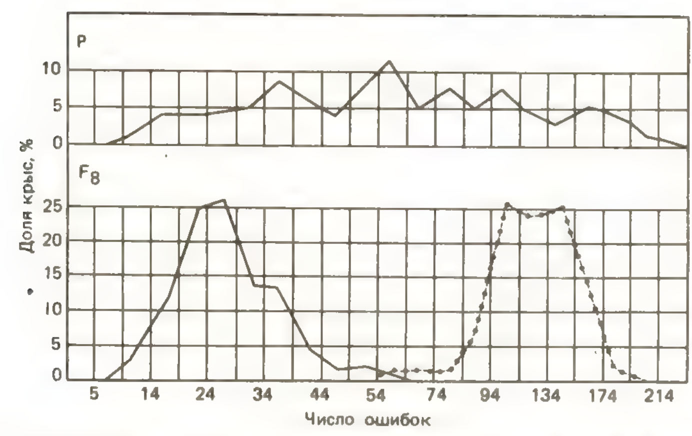


Рис. 13-1. Генетически обусловленная способность крыс осваивать лабиринт, измеренная по числу ошибок, т. е. неверных поворотов при его прохождении. В начальной родительской популяции (P) число животных, делающих разное число ошибок, сильно не различается. Из этой популяции отбирали "умных" и "глупых" крыс и продолжали такой отбор в 8 последующих поколениях. После этого две группы (F_8) уже резко отличались друг от друга по способности проходить лабиринт.

на поведение, включая умственные способности, влияют генетические факторы. Так оно и есть в действительности, но на практике мы встречаемся с рядом сложностей, которые и отличают генетику поведения от генетики таких признаков, как цвет шерсти или молочная продуктивность. Исходная организация нервной системы определяется генами, и она создает рамки, в которых возможно обучение. Значительная доля поведения, однако, не запрограммирована в наследственности, и нередко отделить генетическую составляющую от средовой бывает очень трудно. Роль обучения в формировании поведения у разных видов неодинакова, а в пределах одного вида она для одних форм поведения важнее, чем для других. Особенно сложную картину мы находим у млекопитающих.

Обучаемость и "умственные способности" крысы можно оценить по тому, как она осваивает задачу прохождения лабиринта. Был предпринят ряд попыток вывести линии крыс, которые по этому критерию можно считать "умными" и "глупыми". Результаты одного из таких опытов представлены на рис. 13-1. Исходную популяцию крыс испытывали в тестах с лабиринтом, а затем на протяжении ряда поколений скрещивали самых "умных" животных между собой, а самых "глупых" — также между собой.

Уже во втором поколении стали выявляться некоторые различия в способностях, а к восьмому поколению показатели двух групп разошлись настолько, что практически не перекрывались.

Дальнейшие опыты показали, однако, что повышенные способности в основном проявлялись только в тестах с лабиринтом. После того как были выведены линии "умных" и "глупых" крыс, животных обеих линий выращивали в трех разных условиях и изучали их способность проходить лабиринт. Эти условия были такие:

1) обедненная среда: простые клетки с кормушкой и поилкой;

2) "нормальная" среда: клетки, в которых обычно содержат крыс в лаборатории;

3) обогащенная среда: клетки с беличьим колесом, качелями, мячиками и декорированными стенками.

Крысы, выросшие в обычных условиях, как и можно было ожидать, оказались "умными" или "глупыми" в тестах с лабиринтом в зависимости от того, к какой из двух линий они принадлежали, однако при выращивании в обедненной или обогащенной среде эти различия сглаживались. Это, конечно, не означало, что гены не влияют на способность проходить лабиринт. Просто эта способность в одних условиях проявляется, а в других — нет.

Наследуемость умственных способностей у человека

Безнадежно было бы изучать наследуемость высоты растений у гороха, если бы мы не могли оценивать различия между высокими и карликовыми растениями. Пытаясь определить наследуемость умственных способностей у человека, нужно прежде всего знать, в чем они выражаются. Кроме того, полезно уметь оценивать их количественно.

Проблема здесь примерно та же, что при создании, скажем, термометра. Сначала мы замечаем, что одни предметы теплые, а другие холодные — для этого достаточно до них дотронуться. Затем мы пытаемся придумать прибор, показания которого хотя бы грубо соответствовали нашим ощущениям. Эти ощущения служат первичным критерием: если показания прибора им противоречат, это не термометр.

Хотя не все согласны с этим, все же, я думаю, нет сомнений в том, что нам нетрудно распознать очень высокий или очень низкий уровень умственных способностей. Рассказывают, что когда один из самых выдающихся математиков, Гаусс, учился в школе, учитель задал классу задачу: найти сумму всех чисел от 1 до 100. Это была просто задача на сложение. Пока другие трудились над

нею, Гаусс быстро написал число 5050 и передал его учителю. Когда его спросили, как он его получил, он сказал, что $1 + 100 = 101$, $2 + 99 = 101$, $3 + 98 = 101$ и т. д. При сложении 50 таких пар конечная сумма составит $50 \cdot 101 = 5050$. За несколько секунд он вывел формулу суммы арифметической прогрессии. Было бы трудно отрицать, что мы сразу можем оценить на этом примере уровень интеллекта Гаусса. И наоборот, так же легко установить, что мы имеем дело с тупым человеком. Гораздо труднее, однако, сравнить и расставить по полочкам людей средних способностей или же очень способных, но в совершенно разных областях. Кто выше — лорд Нельсон в управлении флотом, Менделеев в химии или Бетховен в музыке?

Измерение умственных способностей

Тесты на умственные способности представляют собой наборы вопросов (задач) разной степени трудности. Вопросы подбираются так, чтобы по ответам на них можно было судить об уровне умственного развития испытуемых. Если уже "интуитивно" ясно, что один из них близок по уровню к Гауссу, а другой — явно умственно отсталый, то суммарные оценки в баллах должны получаться резко различными.

Поскольку составители тестов, видимо, полагают, что наивысшая форма умственных способностей — это уровень кандидата наук или что-то вроде этого, результат теста должен как можно точнее предсказывать ожидаемые академические успехи испытуемого. Считается, что они зависят от ума. Далее, тест должен быть стабильным и давать одни и те же результаты, если одного и того же человека тестируют в разное время. Поскольку предполагается, что тест выявляет именно способности, свойственные человеку, а не знания, приобретенные в школе или где-то еще, он не должен быть специфически связан с местной культурой или школьными программами.

Последнее требование ставит ряд трудных проблем. В качестве крайнего примера можно рассмотреть типичный американский тест на IQ. Если использовать его для оценки способностей австралийских аборигенов, то мы будем получать величины порядка 30. В Америке человек с IQ 30 — это умственно крайне отсталый, настолько малоразвитый, что он и выжить-то может только при особой опеке со стороны общества. Однако аборигены Австралии вовсе не нуждаются в таком к себе отношении и превосходно выживают в условиях, которые средний американец сочтет

весьма тяжелыми и даже несовместимыми с жизнью. С точки зрения аборигенов именно горожане-американцы показались бы дебилами, неспособными к самостоятельному существованию без помощи нормальных людей. Причина низкого результата в тесте американского типа заключается в том, что он основан на понятиях, чуждых аборигенам. Ясно, что такой тест ничего не скажет нам об уровне развития австралийских аборигенов. Короче говоря, проводить межгрупповые сравнения очень трудно.

Тем не менее, несмотря на все сложности, оценивать умственные способности по тесту IQ все-таки можно. Ему подвергают детей в возрасте примерно от 6 до 14 лет. Средние результаты, получаемые в том или ином возрасте, принимают за 100 баллов. Сравнивая с этой "нормой" индивидуальную оценку для данного ребенка, можно определить его "умственный возраст". Например, если ребенок в 9 лет набирает сумму баллов, характерную в среднем для десятилетних, то его "умственный возраст" будет не 9, а 10 лет. Если поделить умственный возраст на хронологический и умножить частное на 100, это и будет его IQ. При умственном возрасте 8 лет, а хронологическом 6 $IQ = 8/6 \cdot 100 = 133$. Если умственный возраст равен 8, а хронологический — 10 годам, то $IQ = 8/10 \cdot 100 = 80$.

Полученные таким образом оценки после 14 лет выравниваются: поэтому, если следовать процедуре буквально, то IQ будет с возрастом понижаться, поскольку то же число будет делиться на все возрастающую величину. В связи с этим несколько произвольно принято хронологический возраст взрослых уменьшать до 14 лет. Это делается на том основании, что в таком случае величина IQ остается более или менее постоянной до старости. Возможно, это веский аргумент, но надо отметить, что сам IQ, по мнению некоторых исследователей, все равно становится величиной довольно неопределенной, если применять ее к взрослым.

Несмотря на ряд теоретических возражений, IQ отвечает ряду критериев, которым должен удовлетворять подобный показатель:

1) значения IQ достаточно стабильны — от 6 примерно до 14 лет его величина обычно варьирует в пределах всего лишь 5–10 баллов;

2) IQ позволяет довольно точно предсказать, как у ребенка пойдут дела в школе, а затем и в университете; прогноз на дальнейшую жизнь менее надежен. Невозможно прогнозировать успех в ручной работе, балете, живописи или музыке, но для этого IQ и не предназначен;

3) Люди, которых интуитивно воспринимают как очень умных или очень глупых, получают вполне адекватные оценки. У тех,

кто внес выдающийся вклад в какую-либо область интеллектуальной деятельности, например физику или математику, показатель IQ никогда не бывает низким. Это хотя и качественный (не количественный), но, пожалуй, наиболее убедительный аргумент в пользу того, что величина IQ действительно говорит что-то об уровне умственных способностей. При грубой оценке она дает нам представление хотя бы о некоторых гранях этих способностей.

Наследуемость умственных способностей

Нет сомнения в том, что какая-то часть наших умственных способностей определяется родительским воспитанием и социальными условиями. Единственный реальный способ выяснить, действуют ли наряду с этим и гены, — это поискать корреляции между родственниками, т. е. посмотреть, в какой мере дети в этом отношении сходны с родителями, насколько похожи близнецы и т. д. Среди многих работ по этому вопросу наиболее известен обширный обзор очень большой массы данных за много десятилетий в разных странах, написанный Эрленмейер-Кимлингом и Джарвиком. Основные результаты суммированы в таблице:

	Выросшие порознь	*Выросшие вместе*
Не родственники	0,01	0,23
Приемный родитель/ребенок	–	0,20
Родитель/ребенок	–	0,50
Дети одних родителей (не близнецы)	0,40	0,49
Близнецы разнояйцовые однополые	–	0,53
Близнецы разнояйцовые разнополые	–	0,53
Близнецы однояйцовые	0,75	0,87

Сходство здесь выражено коэффициентами корреляции: чем оно выше, тем они ближе к единице. Рассмотрев таблицу, мы сразу можем сделать ряд важных выводов.

Чем в более близком родстве находятся люди, тем более сходны они по умственным способностям. Поскольку это отмечается и тогда, когда люди воспитывались порознь, сходство не может определяться только условиями среды. Можно с уверенностью заключить, что умственные способности частично зависят от наследственности. Проведенные недавно сравнения однояйцовых близне-

цов показали, что наследуемость умственных способностей, оцениваемых по IQ, весьма значительна и составляет величину порядка 0,7–0,8. Но из таблицы ясно видно и то, что на умственные способности влияет также среда. Не родственники, воспитанные вместе, более сходны между собой, чем такие же люди, выросшие порознь. Для последних коэффициент корреляции равен нулю, как и должно быть, поскольку нет никакой связи ни между их генотипами, ни между условиями жизни. Это относится и к приемным детям: если бы среда не оказывала влияния, их специфическое сходство с приемными родителями было бы равно нулю, чего не наблюдается. Приемные дети похожи на своих новых родителей приблизительно в той же мере, как и другие неродственные люди, выросшие вместе. Напротив, родственники, выросшие порознь, менее сходны, чем воспитанные вместе. Таким образом, для развития умственных способностей важны и гены, и среда.

Если мы будем изучать детей тех отцов и матерей, у которых IQ выше или ниже среднего (100), то мы обнаружим то же распределение, которое Гальтон нашел при изучении наследования роста: в потомстве наблюдается регрессия, т. е. приближение к средним значениям для популяции. Обычно дети родителей с высоким IQ имеют IQ, находящийся где-то на полпути между родительским и средним для популяции в целом; при низких IQ родителей наблюдается аналогичная картина, но величины лежат по другую сторону от среднего для популяции.

Хотя роль генов в развитии умственных способностей несомненна, о конкретном механизме наследования мало что известно. Полагают, что IQ определяется множеством генов с частично аддитивным действием и рядом других генов, взаимодействие которых еще более сложно. Кроме того, все эти пока не изученные гены взаимодействуют со средой, и это тоже важный фактор, определяющий наследуемость. Если ребенок обладает какими-то особенностями, то он старается выбрать такие условия среды, которые будут способствовать их развитию. Например, люди с генетически обусловленным высоким уровнем интеллектуальных способностей будут читать книги по естественным наукам, философии или искусству и будут стремиться к компании людей со сходными интересами. Напротив, те, у кого наследственный уровень интеллекта низок, будут заниматься менее “умными” делами и могут ограничиться чтением комиксов. Таким образом, гены создают положительную обратную связь: более высокие врожденные способности будут еще больше развиваться в результате взаимодействия с той средой, которая этому способствует, в то время как пониженные способности приведут к выбору среды, еще больше их снижающей.

Глава 14

Конфликт, сотрудничество и родство

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. В социальном поведении животных определенную роль играет наследственный фактор. Это относится и к человеку, хотя здесь важную роль приобретают и элементы культуры. И у человека, и у многих животных решение проблемы выживания по принципу "один другому волк" оказывается часто менее эффективным, чем сотрудничество, и поэтому особи проявляют тенденцию объединяться в группы, в которых они помогают друг другу. В таких группах, однако, могут действовать и особи, использующие группу в своих собственных ближайших интересах.

"Альтруизм", т. е. способность жертвовать собственными интересами ради других, часто встречается у животных, образующих социальные группы. Происхождение его путем естественного отбора было трудно объяснить. Сегодня для этого используют теорию "отбора родичей", или "*кин-отбора*", согласно которой животное проявляет "альтруизм" в большей мере к родственникам, чем к чужакам, и тем самым способствует репродукции генов, сходных с его собственными. Таким образом "гены альтруизма" получают преимущество при отборе.

Помогая группе родичей, особи, не участвующие в размножении, тоже способствуют сохранению генов, идентичных их собственным. Это играло важную роль в эволюции альтруистического поведения у бесплодных рабочих пчел, муравьев и термитов, а также на ранних этапах эволюции человека.

Современным аналогом биологического "отбора родичей" у человека является лойяльное отношение индивидуума к другим членам своей социальной или политической группы. Хотя этот вид отбора сильно видоизменился под влиянием культуры, вполне возможно, что он ведет свое начало от отношений между родственниками у наших предков.

◇◇

Хотя развитие наших способностей, например умственных, несомненно, зависит от условий, в которых мы живем, оно в значи-

тельной мере определяется и нашими генами. Это справедливо и в отношении социального поведения и культуры вообще: то и другое является продуктом и среды, и генов. Здесь тоже происходят весьма эмоциональные стычки между "оптимистами", которые верят, что все мы — в основном продукт воспитания и поэтому можем быть легко усовершенствованы, и их оппонентами, которые подчеркивают значение наших генов. Представление о важной роли наследственности в формировании социального поведения особенно характерно для науки *социобиологии*.

Как уже говорилось в предыдущей главе, потребность доминировать, подчинять себе окружающих — одна из важных движущих сил наших социальных взаимоотношений. Это наблюдается и у многих других приматов, и потому разумно предположить, что здесь имеется генетическая основа. В этой главе мы рассмотрим, что может быть биологической основой еще двух важных факторов социальных отношений — сотрудничества и альтруизма.

Сотрудничество

По мнению "социал-дарвинистов", жизнь по принципу "человек человеку волк" обеспечивает постоянный прогресс, но даже истинным мафиози известно, что это примитивная точка зрения — гораздо лучше сотрудничать, хотя бы с единомышленниками.

Князь Петр Кропоткин (1842–1921), известный теоретик анархизма, усиленно подчеркивал, что биологи преувеличивают роль конкуренции между особями. В одной из своих книг (1902) он указывает много случаев, когда организмы добиваются успеха благодаря сотрудничеству. Сегодня мало кто помнит Кропоткина, но эта его мысль с годами приобретала все больший вес.

Сотрудничество всегда в какой-то мере основывается на альтруизме: кто-то поступается своими интересами в пользу других. Как это ни странно, примеры альтруизма довольно часты. Хотя он и не слишком развит среди скорпионов, мы достаточно часто встречаемся с ним у общественных животных. Рабочие пчелы усиленно трудятся для блага других членов семьи и даже гибнут, защищая улей. Павианы-самцы бесстрашно вступают в бой за свое стадо.

Примером взаимовыгодного сотрудничества между разными видами может быть часто встречающееся поведение, которое состоит в "чистке" одних морских животных другими. При такой форме симбиоза один вид удаляет паразитов и поврежденные ткани с поверхностей тела другого вида. Это полезно и тому, и другому организму: один получает пищу, а другой освобождается от

вредного материала. Чистильщик — рыба или креветка — занимает определенное место и рекламирует свои услуги бросающейся в глаза окраской. Рыба, нуждающаяся в чистке, приплывает, иногда издалека, и подставляется чистильщику. Она при этом находится в своего рода “гипнотическом трансе” — тело ее напряжено и находится под неестественным углом к поверхности воды. Чистильщик начинает свою работу. Интересно, что хищные рыбы, например мурены, открывают при этом рот и позволяют чистильщику беспрепятственно проникать туда, не пытаясь его проглотить, что они склонны делать с другими рыбами, попадающими в рот. Это самоограничение иной раз не срабатывает, и тогда чистильщик может попасть в желудок, но это случается редко.

Любая адаптация, какой бы полезной она ни была, может стать объектом “хитроумного” использования другими организмами. Вот и яркая отличительная окраска чистильщиков становится предметом подражания (мимикрии): некоторые рыбы, чисткой не занимающиеся, похожи на них по цвету. Когда к ним для чистки приближается другая рыба, подражатели отрывают от нее кусочки. Впрочем, для таких обманов у природы есть определенные ограничения: подражатели не могут быть слишком многочисленными, иначе вся система отношений нарушится. Будет много лжецов — мало станет доверчивых жертв.

Кропоткин был ученым (он занимался физической географией), но был также философом и политиком. Он высоко ценил сотрудничество из-за его очевидных положительных моментов и, подобно многим другим доброжелательным людям, упускал из виду, что сотрудничество может быть и союзом хищников. Как общее правило, объединенные усилия позволяют брать верх над попытками одиночек, и в результате вся общественная система расчленяется на подсистемы совместно действующих индивидуумов, доброжелательно относящихся к одним и совсем иначе — к другим членам сообщества.

Происхождение альтруизма

Занимаясь изучением биологических систем, альтруизм не следует рассматривать как категорию морали: это просто такая ситуация, когда некий индивидуум делает что-то небезвредное для него самого, а положительный результат этих действий используется кем-то другим. Не удивительно, что Дарвин затрудняется объяснить его происхождение. С позиций естественного отбора альтруизм кажется парадоксальным явлением: особь, которая стремит-

ся достигнуть только собственной выгоды, живет и размножается, передавая следующему поколению "гены эгоизма", в то время как альтруист имеет больше шансов погибнуть и тем самым погубить свои "гены альтруизма". Более того, альтруизм способствует сохранению "эгоистических" генов у других особей, подобно тому как ежеминутно рождающиеся простаки способствуют процветанию жуликов.

Общую теорию, объясняющую происхождение альтруизма путем естественного отбора, можно изложить в форме притчи. Природа альтруизма раскрывается в ней косвенно, так как сама притча касается проблем омоложения и бессмертия.

Как может человек стать "бессмертным" или по крайней мере помолодеть? Рассуждая на эту тему, Георгий Гамов, известный физик и космолог, пришел к выводу, что суть проблемы лежит в точном определении, что́ мы хотим сохранить во времени. По его мнению, это свойства личности, которые представляют собой не что-то материальное, а блок организованной информации. В популярном изложении Гамова суть этой идеи такова:

> Представьте себе, что у вас в городе появился новый модный доктор X. Он заявляет, что владеет секретом омоложения... Сначала люди не верят ему, но вскоре убеждаются, что у него слова не расходятся с делом, однако остается тайной, как он этого добивается...
>
> Предположим, вам захотелось сбросить двадцать-тридцать лет, и вы записываетесь на прием. На этот раз, однако, что-то идет не так, и, засыпая, вы слышите разговор двух медсестер, который раскрывает суть метода доктора X. Оказывается, клиника имеет где-то секретную ферму, где живет много детей разного возраста, привезенных туда разными полулегальными способами. Уход за ними осуществляется по новейшим правилам медицины, но мозг остается совершенно неразвитым. Когда в клинику приходит новый пациент, на ферме отбирают ребенка подходящего возраста и внешности. Затем начинается самый важный этап лечения, который целиком основан на научных достижениях доктора X. Вас и ваше новое тело кладут рядом на госпитальную койку, и сложная электронная система делает главное: она копирует все связи между нейронами вашего мозга и переносит их в мозг молодого человека. В принципе это, вы знаете, вполне возможно. Таким образом вы получаете полного двойника, но гораздо более молодого, который обладает всем содержимым вашей памяти, всеми вашими знаниями и

другими особенностями вашей неповторимой личности. Потом они тем или иным способом убивают ваше прежнее тело, в то время как ваше новое тело, которое выглядит молодым, но ведет себя так же, как вы, выписывают из клиники на радость вашей семье и друзьям.

— Но это обман, — воскликнул Томкинс, — такого доктора надо отдать под суд!

— Спокойнее, — сказал пожилой человек, — в конце концов это фантазия... Но давайте подумаем о ней немного. Предположим, используется несколько иной метод: клетки вашего тела научились заменять новыми, одну за другой. Ведь это не сильно отличается от переливания крови, не правда ли? Я не говорю о юридических аспектах проблемы и предлагаю вам ответить на иной вопрос: после того как вы узнали, чтó доктор X собирается с вами сделать, убежите ли вы из клиники, чтобы никогда в нее не возвращаться?

— Конечно, — убежденно сказал мистер Томкинс.

— Вы рассуждаете не рационально, — ответил, улыбаясь, пожилой человек. — если вы будете рассматривать себя не как набор материальных клеток тела, а скорее как комплекс воспоминаний, мыслей и желаний, почему же вам возражать против переноса своего внутреннего содержания в новую телесную оболочку? В конце концов, никто ведь не будет возражать против переноса заметок из старой записной книжки в новую, если вся информация будет скопирована без изменений.

— Возможно, вы и правы, — заметил Томкинс, — и я думаю, мне нужно было бы согласиться на операцию. Впрочем, на деле я вряд ли пошел бы на это.

В этих рассуждениях существенно то, что "пожилой человек" даже не упомянул одного очевидного следствия аналогии с записными книжками. Если личность — всего лишь некий запас мозговой информации, то можно представить себе и несколько копий одной личности. Это предположение может быть и неверным в отношении личностей, но оно совершенно справедливо, если речь идет о запасах генетической информации. Два однояйцовых близнеца генетически идентичны и с точки зрения популяционной генетики неразличимы. Именно из этой идентичности и развился новый и неожиданный феномен "альтруистического поведения".

Если две особи генетически идентичны, то для популяционной

генетики это как бы один и тот же организм (или, выражаясь осторожнее, они взаимозаменяемы). Представим себе, что один из них погибает, чтобы спасти другого. С генетической точки зрения особь гибнет, но может продолжать жить в других особях, и во многих случаях это более эффективный способ передавать потомству свои гены, чем попытка убежать с перспективой достаться хищнику позже. Таким образом, альтруизм (иногда) получает в процессе отбора преимущество перед эгоизмом.

За исключением однояйцовых близнецов и некоторых других особых случаев, особи генетически не идентичны, но между ними может быть частичное сходство. У близко родственных особей одинаковых генов больше, у отдаленно родственных — меньше. Поэтому альтруистическое поведение, направленное на родственников, будет способствовать передаче большего числа ваших генов, чем если бы вы проявляли его в отношении неродственных индивидуумов.

Если именно таким путем происходил отбор особей, склонных к альтруизму, то животные должны были отличать членов семьи от чужаков и вести себя по отношению к ним по-разному. Во многих случаях так и происходит; очень часто узнавание основано на обонятельных сигналах.

Наиболее очевидным примером такого кин-отбора, способствующего проявлению альтруизма, служит материнская забота о потомстве. Матери, которые плохо о нем заботятся, имеют меньше шансов передать свои гены потомству, и отбор действует в пользу тех, кто печется о детенышах. Разумеется, это происходит лишь тогда, когда родители проявляют заботу о собственных потомках. Если они берут приемышей, то способствуют распространению чужих генов, а не своих. Как бы понимая это, некоторые птицы (например, чайки и пингвины) отказываются воспитывать чужих птенцов, и те вскоре гибнут. Это способствует также отбору генотипов, носители которых с меньшей вероятностью оставляют сирот.

Кин-отбор имел, видимо, большое значение в эволюции некоторых групп общественных насекомых. Дарвин затруднялся объяснить, каким образом путем отбора могли возникнуть рабочие пчелы, выполняющие большой объем работы, или солдаты в колониях термитов. И те и другие стерильны и не оставляют потомства, так что каковы бы ни были их качества, будь они наследственными или нет, все они пропадают зря вместе с их смертью. Но рабочая пчела — дочь матки, и половина генов у них одинакова. Именно

поэтому ее вклад в жизнь улья не утрачивается и помогает репродукции части ее собственных генов через пчел, которых произведет ее мать.

Естественный отбор способствует такого рода альтруизму, поскольку он дает семье определенные преимущества. Заключаются они в том, что в следующем поколении будет больше таких генотипов, как у тех особей, которые проявляли альтруизм. Преимущественно размножающиеся генотипы со временем становятся в популяции преобладающими, хороши они или плохи в других отношениях; поэтому неудивительно, что кин-отбор нередко сводится только к тому, что помогает "родне" в ущерб другим семьям. Примером могут служить мыши: у их самцов выработались особые приемы, позволяющие им подавлять развитие потомства, зачатого от других самцов.

Если мышь-самку содержать вместе со знакомым ей самцом, то она перестает спариваться, как только забеременеет. Если же в первые 4–7 дней после этого ее посадить с "чужим" самцом, то эмбрионы не имплантируются в стенку матки, беременность прерывается и снова наступает течка. Это называется блокадой беременности. Если, однако, эмбрионы уже успели имплантироваться, присутствие чужого самца не оказывает никакого действия и беременность протекает нормально.

Для того чтобы произошла блокада беременности, нет необходимости в прямом контакте чужого самца с самкой — достаточно, если в ее клетку попадет его моча: важен запах, который отличает одну мышь от другой. Запах определяется теми же генами, которые кодируют совместимость или несовместимость пересаживаемых тканей. Эти пахучие вещества через нервную систему влияют на гипофиз, который не случайно называют главной железой гормональной системы. Гипофиз в свою очередь регулирует образование других гормонов, в том числе тех, которые влияют на половое поведение и могут предотвращать имплантацию.

По-видимому, для предотвращения слишком частого блокирования беременности самки издают запах, препятствующий блокаде, так что если несколько самок живут вместе, то влияние самца-чужака нейтрализуется.

Блокада беременности у мышей позволяет самцу, появившемуся позже, заменять неродившееся потомство от другого самца собственными детенышами. Некоторым особям это может дать преимущество в отборе — после них остается более многочисленное потомство. Будет ли это полезно для вида в целом, зависит от

того, обладают ли выигравшие самцы и другими положительными свойствами.

Роль особей, не участвующих в размножении

Как показывает пример с пчелами, один из главных результатов кин-отбора — то, что и не размножающиеся особи становятся генетически полезными. Как полагают, этот способ "непрямого размножения" играл важную роль и на ранних этапах эволюции человека, который жил небольшими группами, в которых все состояли в тесном генетическом родстве. Не размножающиеся, т. е. старшие члены такой группы, видимо, обладали лучшим здоровьем и были умнее своих сородичей, что и позволило им достичь преклонного возраста. Если они способствовали выживанию группы, то тем самым они передавали свои гены потомкам.

Альтруизм и современный человек

"Альтруизм", описанный выше — не совсем то, что мы называем альтруизмом в сфере морали. Это скорее непотизм, сохраняющийся также и у человека как продолжение биологического феномена альтруизма по отношению к генетически родственным особям. Он скорее всего будет проявляться по отношению к членам той группы, к которой человек принадлежит, в наиболее явной форме — по отношению к родным. Другое его проявление — лойяльность к представителям той же социальной, религиозной или политической группы; такой лойяльности часто сопутствует ксенофобия, т. е. враждебность к чужим группам. Подобные симпатии и антипатии, конечно, обусловлены культурными факторами, поскольку между членами этих групп нет какого-то особого генетического сходства. Но о том, что такое поведение имеет все же некоторую генетическую основу, говорит легкость, с которой оно может быть внушено. Ксенофобию можно, хотя и с трудом, преодолеть путем широкого образования (как это видно на примере борьбы с расизмом), но любой демагог легко может вызвать обратный сдвиг.

Альтруизм, более возвышенный по сравнению с непотизмом, свойствен только людям, да и то не всем. Он проявляется в форме сочувствия страждущим, в желании доставлять удовольствие другим людям и, по-видимому, не имеет столь прямой биологической основы. Вероятно, это лишь непрямое следствие общего повышения умственного развития.

Как мы увидим позже, некоторые из обезьян обладают по меньшей мере “зачатками” сознания — имеют представление о том, что некоторым объектам (в основном другим особям того же вида) свойственны намерения, реакции и чувства, сходные с их собственными. В наибольшей степени это выражено у высших обезьян и особенно у человека. При случае некоторые индивидуумы способны “поставить себя на место другого” или проявить сочувствие, что в конечном счете может приводить к альтруистическому поведению. К сожалению, это же может привести и к садизму, когда от страданий других особь получает удовольствие. Это тоже возможно лишь при наличии элементов сознания. Теолог сказал бы, что только люди и, быть может, в меньшей степени некоторые другие приматы способны на то, что мы называем “добром” и “злом”.

Глава 15

Продолжительность жизни

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Эволюция организмов возможна только при смене поколений и конечной продолжительности жизни отдельной особи. Даже избежав случайной гибели, организм в конце концов умирает в результате старения — постепенного угасания физиологических функций, приводящего к увеличению вероятностей различных болезней.

Распределение продолжительности жизни в популяции изучают путем исследования когорт, т. е. групп индивидуумов, рожденных в одно и то же время. Если построить график уменьшения числа особей данной когорты со временем, мы получим "кривую выживания", из которой выводятся понятия "смертности" и "ожидаемого времени жизни". Известны две основные формы таких кривых.

При экспоненциальной кривой вероятность смерти одинакова и для молодых, и для старых особей — старение здесь не сказывается. К такому типу приближаются популяции, в которых главная причина смерти — разного рода несчастные случаи (как, например, у многих птиц).

Если кривая выживания идет горизонтально, а затем круто падает, это означает, что все живут до какого-то определенного возраста, после чего гибнут; этот возраст соответствует биологическому пределу продолжительности жизни особей данного вида. При хороших условиях к такой форме близка кривая для людей, но полностью она ей никогда не соответствует.

Биологическое значение смерти очевидно: без смены поколений эволюция была бы невозможна. Американский философ Менкен остроумно заметил: "Пожары и похороны — главные двигатели прогресса". Это, однако, не объясняет, почему смерть неизбежна. В самом деле, почему жизнь конечна, чем определяется ее продолжительность? Ясных ответов на эти вопросы нет, и лишь совсем недавно биологи стали серьезно изучать эту проблему.

У всех многоклеточных животных и растений время жизни конечно, но лучше всего в этом отношении изучен человек, так что многое в дальнейшем изложении будет касаться нашего собственного вида.

Старение человека

Старение можно определить как увеличение вероятности смерти со временем. Это увеличение можно связать с определенными изменениями в организме, которые нетрудно наблюдать независимо от представлений о вероятности смерти.

Старение проявляется в утрате или ухудшении различных функций организма по весьма разнообразным причинам. Иногда ослабление какой-то функции с возрастом обусловлено просто износом соответствующей системы — подобным образом "стареет", например, и интенсивно используемый автомобиль. Так обстоит дело, скажем, с зубами, хотя портятся они не только от механического износа: с возрастом все больше проявляется внутренняя тенденция терять один зуб за другим независимо от внешних воздействий.

Несколько менее очевидны причины возрастного ухудшения слуха. По мере того как человек стареет, он все хуже слышит высокие звуки (рис. 15-1). Частично эта потеря слуха определяется просто возрастом, но сегодня известно также, что она зависит и от воздействия чрезмерного шума. По неясным пока причинам избыточная стимуляция волосковых клеток кортиева органа (см. рис. 31-5), преобразующих звуковые сигналы в нервные импульсы, вызывает их дегенерацию.

Степень "шумового загрязнения" среды, в которой живет современный человек, необычайно высока. В некоторых городах уровень уличного шума в 80–90 децибел считается нормой. На другом полюсе находится племя мебан в Судане. Оно ведет крайне изолированную жизнь, и среда обитания там считается одной из самых спокойных в мире — даже сельскохозяйственные работы бесшумны. В возрастной группе 70–90 лет 53% людей этого племени все еще способны слышать звуки частотой 14 килогерц (а в Нью-Йорке лишь 2%!). Семидесятилетние старики там слышат так же, как двадцатилетние жители Нью-Йорка.

Ухудшение функций по внутренним причинам

Примером угасания физиологической функции, определяемого внутренними причинами и мало зависящего от среды, может служить рост ногтей у человека. Средняя скорость увеличения их

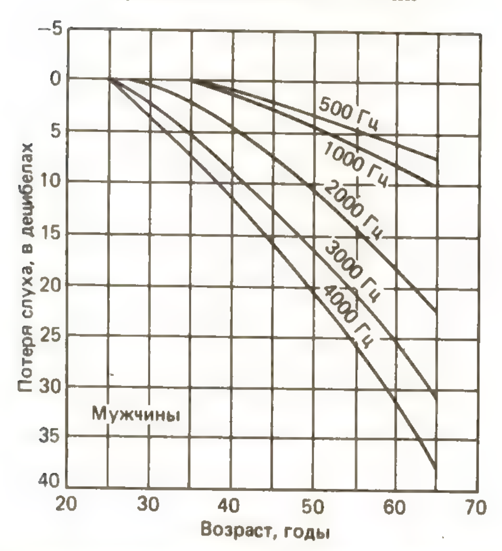


Рис. 15-1. Прогрессирующая потеря слуха с возрастом; средние показатели для мужчин-американцев. Обратите внимание, что способность слышать высокие звуки ухудшается в большей степени.

длины на больших пальцах рук в 30–40 лет составляет 0,83 мм в неделю, а в 90–99 лет только 0,52 мм (рис. 15-2). Такое же снижение характерно и для многих других функций; оно происходит неуклонно, но с разной скоростью. Это, однако, не означает, что функции изменяются независимо друг от друга. Уменьшение газообмена в легких, например, создает дополнительную нагрузку на систему кровообращения, которая пытается скомпенсировать его более быстрым перекачиванием крови. В какой-то степени то же происходит и с другими функциями: снижение одной предъявляет новые требования к другим.

Связь между ухудшением функций и ростом смертности можно вкратце описать следующим образом. Молодой организм обладает, как правило, большим резервом жизненно важных функций: например, его сердце и легкие способны не только обеспечивать обычные каждодневные потребности, но и выдерживать огромные перегрузки вроде, скажем, забега на сто метров. Но постепенно этот резерв уменьшается. В среднем возрасте мы еще способны к длительным, но умеренным нагрузкам, таким как дальние переходы, но быстро бегать нам уже трудно. В старости наших сил хватает лишь на минимальную активность, и со временем жизненно

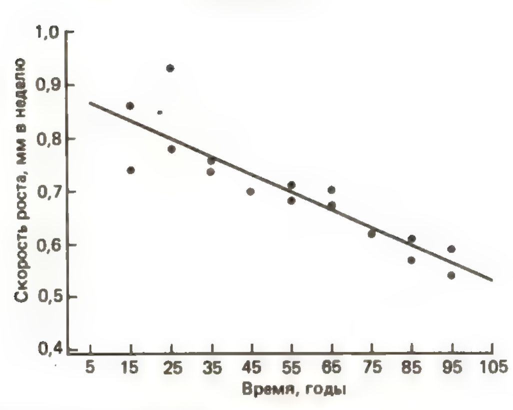


Рис. 15-2. Скорость роста ногтей у человека как функция возраста.

важные функции угасают настолько, что сама жизнь становится невозможной. Поскольку неэффективными становятся все системы организма, смерти не избежать. Даже если некоторые функции удается поддерживать искусственным путем, вскоре отказывают другие.

Увеличение частоты болезней

Хотя старение само по себе проявляется лишь в постепенном угасании различных физиологических функций, дело редко идет так гладко. На практике мы наблюдаем резкое увеличение вероятности вполне определенных болезней: по мере того как человек стареет, они все чаще посещают его (рис. 15-3). С точки зрения практикующего врача это главное проявление старости, и именно такие болезни чаще всего бывают непосредственной причиной смерти. Важнейшие из них — это заболевания сердечно-сосудистой системы и различные формы рака, но встречаются и многие другие.

Поскольку вероятность заболеть с возрастом быстро увеличивается, лечение болезней становится все более неблагодарным делом: даже если больного успешно вылечивают от одной болезни, вскоре появляется другая. Кто-то образно сказал, что это похоже на чистку лука, где за каждой чешуйкой следует новая. Поэтому не стоит думать, что успехи медицины существенно увеличат продолжительность жизни: фактически предел уже почти достигнут.

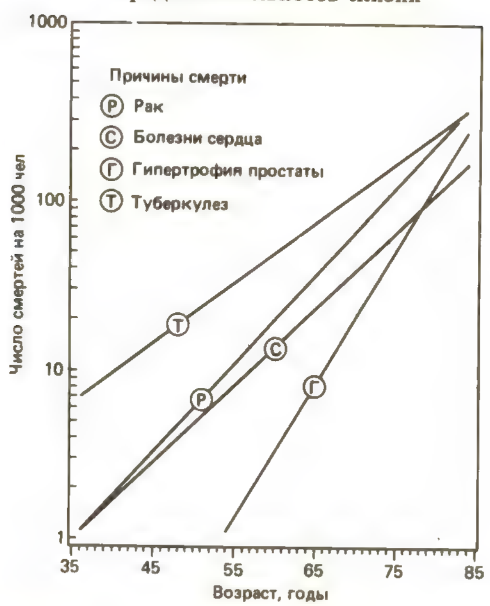


Рис. 15-3. Влияние возраста на смертность мужчин от некоторых болезней в Голландии (1953 г.). Обратите внимание, что график не отражает относительного вклада различных заболеваний в общую смертность; от туберкулеза, например, умирают гораздо реже, чем от болезней сердца. График показывает лишь то, что в пределах группы мужчин, умирающих от той или иной болезни, вероятность смерти от этой болезни увеличивается с возрастом. Полулогарифмическая шкала позволяет отобразить прямыми линиями тот факт, что эта вероятность растет очень быстро, удваиваясь каждые 7–8 лет.

Нервная система

Что происходит при старении с нервной системой? Оказывается, она тоже постепенно деградирует, но общая картина осложняется противодействующим фактором — накоплением "жизненного опыта" т. е. новой информации. В результате для разный функций нервной системы существует свой оптимальный возраст, определяемый балансом противоположных процессов угасания функций, с одной стороны, и накопления опыта — с другой.

Простым и ярким примером могут служить результаты обследований пилотов-истребителей времен второй мировой войны. Судя по разным измеряемым критериям (например, быстроте реакции), оптимальный возраст пилота — 17 лет. Было, однако, отмечено, что таких летчиков легко сбивали пилоты на 10–20 лет

старше. Все дело, очевидно, в опыте и предусмотрительности, которые перевешивают быстроту реакции и точность органов чувств.

Возраст и продуктивность

Возраст максимальной продуктивности в разных сферах деятельности не одинаков. В теоретических науках — математике и особенно теоретической физике — большинство важнейших открытий было сделано людьми в возрасте около 24 лет. Стоит отметить, что Эйнштейн, Ньютон и Бор в более позднем возрасте не сделали ничего даже близкого по уровню к достигнутому ранее. Были, конечно, и видимые исключения. Один из величайших математиков нашего времени Фридрих Гаусс выдавал важные результаты до 80 лет. Говорят, правда, что в поздние годы он в основном излагал и уточнял идеи, родившиеся у него в голове, когда ему было двадцать с небольшим лет.

Это ранее развитие таланта в теоретических науках определяется, видимо, тем, что в них важнее озарение, а не опыт. С другой стороны, ученые-экспериментаторы максимальную продуктивность показывают в более зрелом возрасте. В значительной степени это определяется накопленным опытом, а также тем, что однажды выработанный эффективный подход может с успехом применяться много раз. В искусстве и литературе солидный возраст не служит большой помехой и иногда даже дает некоторые преимущества.

Продолжительность жизни разных видов

Старение и смерть присущи не только человеку. В табл. 15-1 приведены данные о продолжительности жизни у разных видов.

Из данных этой таблицы можно сделать ряд выводов:

А. Некоторые примитивные беспозвоночные (актинии, губки), видимо, не имеют выраженного предела продолжительности жизни. Если их содержать в подходящих условиях, они способны пережить несколько поколений наблюдателей.

Б. Ряд крупных рептилий (например, гигантская черепаха) живут вдвое дольше человека. Отметим, что они "холоднокровные", и обмен веществ у них очень медленный. Можно предположить, что от этого и зависит продолжительность их жизни.

В. Среди животных человек принадлежит к числу долгожителей.

Таблица 15-1. Продолжительность жизни у разных животных. Приведена максимальная продолжительность, отмеченная при содержании в неволе, а иногда в природных условиях, когда можно было определить возраст. Обычно в природе продолжительность жизни гораздо меньше

Млекопитающие	
Человек	70–80, редко 100 лет
Индийский слон	60
Высшие обезьяны, лошади, бегемот	40–50
Павианы, медведи	30
Крупные и мелкие жвачные, собаки, летучие мыши, ластоногие	12–20
Мелкие грызуны	2–5
Птицы	
Крупные птицы (орлы, совы, журавли, попугаи)	40–70
Мелкие певчие птицы	18–30
Амфибии	
Гигантская саламандра	65
Лягушки и жабы	8–36
Рептилии	
Гигантская черепаха	200
Крокодилы и аллигаторы	50
Рыбы	
Осетр	82
Палтус	60
(Многие мелкие рыбы живут всего несколько лет или даже год)	
Продолжительность жизни беспозвоночных	
Низшие формы	
Крупные морские губки	Возможно, живут неопределенно долго
Пресноводные губки	Один год
Некоторые актинии	Более 90
Плоские и круглые черви	
Паразиты человека (солитер и др.)	5–7 или менее

Продолжение таблицы 15-1

Членистоногие	
Омар	50
Усоногие раки	5
Репродуктивные особи термитов	25
Пчелиная матка	Более 5
Многие другие насекомые (во взрослой фазе)	Несколько недель или месяцев
Моллюски	
Некоторые пресноводные моллюски	100
Абалоне	13 и более
Съедобные улитки	7

Г. Некоторые данные указывают на связь между размерами тела и продолжительностью жизни. Но она выражена слабо: например, человек живет дольше лошади, а птицы обычно живут дольше млекопитающих того же размера.

Когорта

Более правильное представление о старении и смерти мы получим, если будем изучать не отдельных особей, а популяции. Ведущим понятием здесь будет "когорта". Демографы называют когортой группу людей, родившихся в одно время. Например, к одной когорте можно причислить всех американцев 1900 г. рождения. Можно взять более однородную когорту — например, всех мужчин, родившихся в Нью-Йорке в 1900 г., всех женщин итальянского происхождения, родившихся в Балтиморе в 1937 г., и т. п.

Кривая выживания

После выделения когорты демограф следит за изменениями ее во времени, отмечая, сколько людей в ней остается год за годом. Это можно выразить общим числом выживающих или долей выживших на каждый год от первоначальной даты. Все это можно представить на графике — кривой выживания. Число особей, рожденных в точке ноль, принимается за единицу (или 1000, или любое другое удобное число) и на график наносится число выживших в последующие годы. Получаемая кривая обычно наклонена вниз, так как по понятным причинам число членов когорты увеличи-

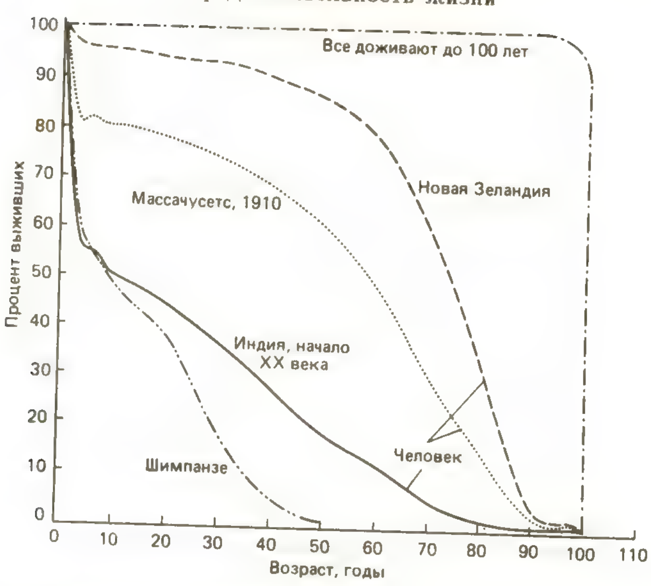


Рис. 15-4. Кривые выживания. Кривая с прямым углом — это кривая выживания для гипотетической популяции, все члены которой доживают до определенного возраста, например до 100 лет, а затем умирают. По мере улучшения условий жизни реальные кривые выживания все больше приближаются к такой форме, но предельная продолжительность жизни не увеличивается. Кривая для Новой Зеландии близка к кривым для современных популяций в "развитых" странах; в последнее время эти кривые почти не изменяются. Различия между кривыми в значительной части определяются разным уровнем детской смертности. Независимо от формы кривой для данного вида существует свой максимальный возраст, и разница лишь в том, что с улучшением условий его достигает бо́льшая доля особей.

График для шимпанзе построен по грубым оценкам для природных популяций. Это наши ближайшие родственники, и кривая дает представление о том, как мог выглядеть такой график для наших предков. Важное биологическое отличие состоит в том, что продолжительность жизни человека увеличилась приблизительно вдвое.

ваться не может. Эта кривая говорит нам, какова вероятность для члена когорты, рожденного во время ноль, дожить до определенного возраста. Если условия жизни быстро не меняются, то кривая выживания для всей популяции, т. е. ее доля, доживающая до определенного возраста, не слишком будет отличаться от кривой для когорты. Такие кривые показаны на рис. 15-4.

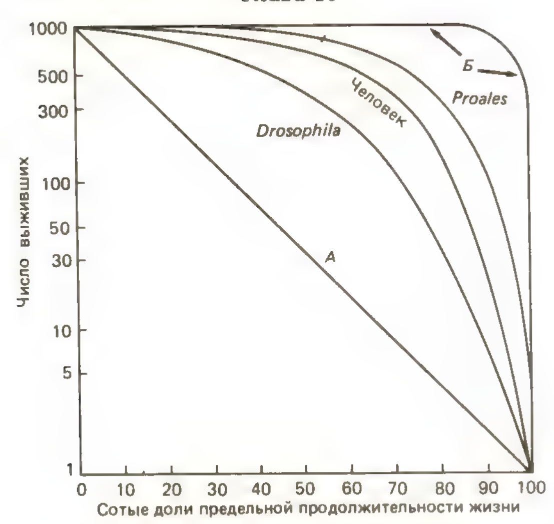


Рис. 15-5. Кривые выживания в логарифмической шкале. *А*. Ситуация, когда смерть наступает в результате случайных событий, равновероятных для любого возраста (модель лотереи). *Б*. Часовая модель: все доживают до определенного возраста и умирают вместе. Промежуточные кривые для человека, плодовой мушки *Drosophila* и коловратки *Proales* (крошечного водного беспозвоночного) характеризуют реальные популяции. Для человека за ноль на временно́й шкале принят возраст 12 лет.

Иногда удобно бывает откладывать на графике не число выживших, а его логарифм, поскольку это позволяет лучше оценивать малые величины в шлейфе кривой. Такая кривая показана на рис. 15-5.

Имея данные по когорте, можно охарактеризовать продолжительность жизни двумя другими величинами. В математическом смысле они не дают новой информации, так как основаны на кривой выживания для когорты, но они позволяют оценить ее в несколько иных аспектах. Они выявляют, во-первых, смертность в определенном возрасте и, во-вторых, ожидаемое время жизни для данной возрастной группы. Эти величины широко используются, например, в страховании и при начислении пенсий, и нам стоит расшифровать их смысл.

Смертность в определенном возрасте

Кривую смертности в определенном возрасте, т. е. вероятности смерти при его достижении, получают из кривой выживания следующим образом. Берут число тех, кто умер за какой-то год, и

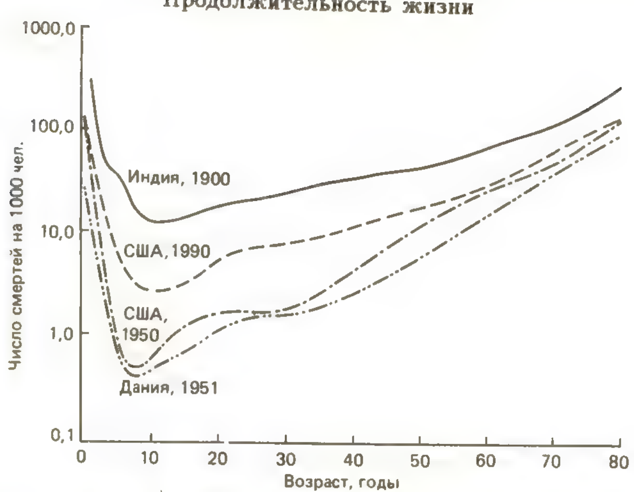


Рис. 15-6. "Сила смертности", или частота наступления смерти как функция возраста в разных популяциях. Она высока сразу после рождения, падает до минимума в возрасте 10–15 лет и затем начинает расти по экспоненте. Хотя эта величина в ранних возрастах сильно различается для разных популяций, к старости, с приближением к предельному возрасту, различия сглаживаются.

делят его на число тех, кто был жив в начале этого года. Пусть, например, в начале года 1000 членов когорты были живы в возрасте a, а к концу года 250 из них умерли. Тогда смертность в этом возрасте будет $250 : 1000 = 0,25$. Эту долю часто называют "силой смертности". Если нанести на график ее значения по всем возрастам когорты, то получится кривая, описывающая "смертность по возрастам", "вероятность смерти" или "силу смертности" для всех возрастных групп. Такой график приведен на рис. 15-6.

Ожидаемое время жизни

Ожидаемое время жизни — это средняя ее продолжительность для тех, кто достиг определенного возраста, или, другими словами, время до момента, когда половина из группы умрет. Как и сила смертности, ее величина изменяется с возрастом.

Ожидаемое время жизни вычисляют следующим образом. Берут кривую вроде изображенной на рис. 15-4 и определяют площадь под нею, разделив ее на прямоугольники каждый шириной в год, а затем суммируют их площади (рис. 15-7). Для оценки высот (ординат) этих прямоугольников достаточно замерить их высоту по

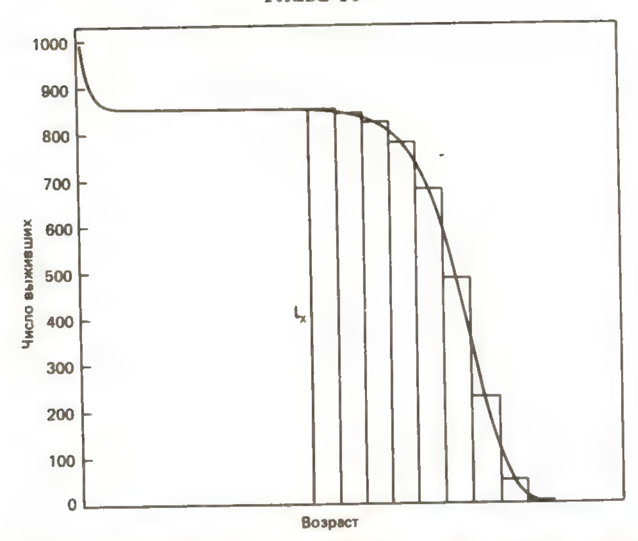


Рис. 15-7. Метод вычисления ожидаемой продолжительности жизни для того или иного возраста. Она равна площади под кривой, отражающей число выживших старше данного возраста. Иными словами, это общее число лет, прожитых людьми после достижения этого возраста, поделенное на число людей, т. е. среднее остающееся им время жизни.

годам и взять среднее между соседними годами. Затем, сложив эти величины, получают площадь (по правилу Симпсона для графического интегрирования, основы которого предложил еще Архимед, а может быть, и кто-то до него).

Каковы же размеры получаемых площадей? По абсциссе отложено время в годах, а по ординате — число людей, так что площадь выражается в произведении этих величин, т. е. в человеко-годах. Это похоже на тонно-километры, используемые при подсчетах перемещений грузов по воздуху или железной дороге.

Если мы теперь поделим площадь (в человеко-годах) на число людей, то получим среднее число лет, которые предстоит прожить человеку; это и будет ожидаемой продолжительностью жизни. Пусть, например, площадь под кривой равна 65 000 человеко-лет, а число людей в когорте на время ноль, т. е. при рождении, равно 1000. Тогда ожидаемое время жизни на момент рождения для этой когорты составит 65 000 : 1000 = 65 лет. В частном случае, когда ожидаемое время жизни вычисляется для новорожденных, оно совпадает со средней продолжительностью жизни для когорты. Для любого другого возраста, например тридцати лет,

мы просто берем площадь под кривой справа от этого возраста и делим ее на число доживших до него людей.

Заметим, что если в целом ожидаемое время жизни с возрастом уменьшается, то в самом начале жизни это не так. Сразу после рождения смертность очень высока, но приблизительно через год снижается. Это характерно и для человека, и (с поправкой на временну́ю шкалу) для других организмов. Таким образом, если кто-то благополучно прошел опасный период, его шансы на долгую жизнь увеличиваются. В арифметическом выражении это можно представить следующим образом: большая смертность в первый год мало изменяет площадь под всей кривой выживания, но существенно сказывается на числе выживших, так что к двум годам практически та же площадь делится на меньшее число индивидуумов, а отсюда и увеличение ожидаемого времени жизни.

Различные формы кривых выживания

Известно, что могут быть различные формы кривых выживания, и они действительно существуют. Можно построить модели, в которых реализуются такие кривые. Хотя такие модели ничего не говорят нам о биологических механизмах, приводящих к гибели членов когорты, они очень полезны для прояснения происходящего.

Тип I — одноударная экспоненциальная кривая

Модель здесь — лотерея, которая определяет, будет индивидуум жить или нет. Когорта рождается во время ноль, и в первый же год разыгрывается судьба каждого. Если индивидуум выиграл — он выживает, если нет — умирает. На следующий год среди выживших происходит то же самое, и так далее все последующие годы. Если принять всю популяцию до первого "тиража" этой лотереи за единицу и если вероятность выживания в течение года равна 2/3, то число выживших по годам распределится так:

Год	*Выжившие*
0	$1 = (2/3), 0$
1	$2/3 = (2/3)^1$
2	$4/9 = (2/3)^2$
3	$8/27 = (2/3)^3$
n	$2^n/3^n = (2/3)^n$
и т. д.	

Отметим, что эта кривая выживания похожа на экспоненциальную кривую, описывающую распад радиоактивного элемента:

$$N = N_0 e^{-at},$$

где N — его количество, имеющееся во время t. N_0 — количество, имеющееся во время ноль, t — истекшее время и a — константа, определяющая скорость прироста или убыли (в первом случае величина a положительна, а во втором — отрицательна). Если откладывать число выживших особей против времени в полулогарифмической шкале, мы получим прямую линию (рис. 15-5, кривая A). По этой линии (или используя алгебраическое уравнение) мы можем оценить "время полужизни", т. е. время, за которое половина особей умрет.

Если популяция уменьшается по такому закону, то это говорит о том, что особи гибнут случайным образом или, если сказать это иначе, что сила смертности во времени постоянна. Вот почему мы прибегли к аналогии с лотереей. Прожили вы много или мало — это не будет влиять на вероятность выживания в дальнейшем; поэтому о "старении" здесь говорить не приходится, так как продолжительность самой жизни неопределенна. Небольшая доля популяции может прожить очень долго, хотя чем больше время, тем меньшая часть останется в живых.

Обычно популяции мелких птиц и млекопитающих, таких как мыши, вымирают по такому экспоненциальному закону. Это говорит о том, что старение здесь не является существенной причиной смерти, и особи гибнут в основном от случайных причин. Если держать мелких птиц в неволе, то при хорошем уходе они живут около 20–30 лет, но в природных условиях лишь очень немногие особи достигают такого возраста: хищники, болезни и голод убивают их раньше, чем начнет сказываться старость.

Тип II — часовая модель

Другой тип кривой смертности соответствует "часовой модели". Особь рождается во время ноль как бы с заведенными часами. Через определенное время она умирает. Если у всех особей часы идут с одинаковой скоростью, то все будут жить до времени t, а затем все умрут одновременно. Все в этом случае живут столько, сколько свойственно данному виду, и их жизнь не прерывают ни несчастные случаи, ни прочие осложнения. Тогда кривая выживания будет сходна с представленной на рис. 15-5, *Б*. Если у разных особей скорость часов несколько различна, как это и бывает на практике, то кривая сначала будет идти горизонтально, а к концу

резко пойдет вниз, хотя и не прямо по вертикали. В любом случае смертность вначале будет равна нулю, а в старости станет очень большой.

Хотя эти две модели могут показаться сильно различающимися, часовую модель тоже можно представить в виде лотереи. Предположим, для того чтобы умереть, особь должна не “проиграть” все сразу, а накопить тысячу мелких проигрышей. Поскольку при больших числах начинают действовать статистические законы, большинство особей наберет эту тысячу проигрышей приблизительно за одно время. По мере увеличения нужного числа кривая выживания будет приближаться к прямоугольной форме с начальным плато и крутым падением в конце.

В этой модели существенную роль играет старение. После ряда тиражей лотереи у некоторых особей будет меньше проигрышей, чем у других: они “молодые”, а те, у кого их больше, — “старые”, так как им меньше остается набрать до смерти. “Молодые” и “старые” различаются по вероятности гибели на последующих этапах лотереи.

В реальной жизни “проигрыши” могут означать множественные повреждения в разных местах; их действие суммируется и в конце концов приводит к смерти.

Реальные кривые выживания для большинства популяций по форме своей промежуточны между двумя модельными типами. Для современных популяций человека в развитых странах они ближе к “часовой модели”. Первоначально, однако (как и сегодня во многих странах), смертность в детском и среднем возрасте была очень высокой, но с улучшением условий жизни она уменьшилась, и кривая выживания начала приближаться к изображенной на рис. 15-4, хотя, конечно, полного совпадения ожидать не приходится. Иными словами, все больше людей живут максимально возможное время, а затем умирают примерно в одном возрасте. Можно сделать вывод, что для каждого вида существует некий предел продолжительности жизни. Для человека он, видимо, близок к ста годам. Это находит свое подтверждение в данных, приведенных в табл. 15-2, составленной для жителей столь различных стран, как Того, Индия и США.

Для ранних возрастов ожидаемое время жизни в разных странах очень различно, но к старости цифры сближаются, и в возрасте 85 лет оно везде составляет около 4–5 лет. В “развитых” странах кривая смертности сегодня довольно близка к прямоугольной (с крутым изломом), так что дальнейший прогресс вряд ли возможен.

Таблица 15-2. Ожидаемое время жизни для женщин при рождении и в возрасте 85 лет для трех стран

Страна	При рождении	В возрасте 85 лет
Того (1961)	33,4	4,3
Индия (1961)	44,0	3,3
США (1965)	73,8	5,0

Сдвиг средней величины в сторону максимума

Увеличение средней продолжительности жизни и приближение кривой выживания к прямоугольной явилось результатом снижения смертности от случайных внешних причин: люди стали пользоваться чистой водой, канализацией, было налажено производство вакцин, антибиотиков, организованы различные массовые мероприятия для уничтожения источников болезней вроде малярии, желтой лихорадки и бубонной чумы. Однако в большинстве мест эти мероприятия достигли уже максимально возможной эффективности, и добиться лучших результатов трудно. Считается, что оспа уже ликвидирована, и уничтожить сифилис будет несложно, так как он передается только через людей, а лечение с использованием пенициллина просто и эффективно. Но окончательная победа над этой болезнью нигде достигнута не была; причина здесь, несомненно, в том, что если оспу рассматривают как болезнь, угрожающую только здоровью, то сифилис представляет угрозу для репутации больного, что затрудняет проведение всеохватывающих мер.

Как важное обстоятельство отметим, что сегодня мероприятия по охране здоровья не только эффективны, но и дешевы. Фактически они даже приносят известный доход: значительная часть популяции, ранее выводившаяся из строя инфекционными болезнями вроде малярии, может теперь активно работать, и возросшая производительность труда с лихвой покрывает затраты на здравоохранение. Но эта светлая полоса подходит к концу.

Новые методы медицины все в большем числе дают обществу людей, спасенных от гибели, но неспособных к продуктивному труду. Мы нередко получаем больных, иной раз не находящихся даже в полном сознании, для поддержания жизни которых нужен повседневный уход. И дело здесь не в том, что методы несовершенны, а в самой природе процессов старения. По мере того как отказывают почки, сердце и другие органы, к пациенту подключают различные механические и полумеханические устройства, чтобы он мог пожить еще немного. Теоретически альтернативой могла бы быть

пересадка органов, однако ясно, что это не решает проблемы — точно так же как каннибализм не может устранить голод.

Из сказанного выше ясно, что в позднем возрасте, когда разрушение физиологических систем ускоряется, такой "технологический" подход должен был бы приводить к чуть ли не полной замене органов поддерживающими жизнь машинами все возрастающей сложности. Пока не ясно, как далеко мы сможем двигаться в этом направлении, но в перспективе конечный результат мог бы оказаться катастрофическим: значительную часть популяции будут составлять беспомощные люди на грани жизни, а многим другим придется посменно заниматься системами их жизнеобеспечения. Мы, конечно, далеки еще от этого, но общая тенденция ощущается вполне ясно.

Более правильным путем здесь была бы разработка биологических способов продления активной жизни до ее видового предела. В этом случае смерть будет скоропостижной: практически все системы будут сносно работать почти до конца, а затем все или большинство откажут одновременно. Человек будет оставаться активным и здоровым практически все отведенное ему время. Не совсем ясно, ждет ли нас успех на этом пути, но если он окажется невозможным, современные тенденции в прогрессе медицины будут вселять тревогу.

Глава 16

Продолжительность жизни и гены

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Если одноклеточный организм (например, бактерия) не гибнет от случайных внешних причин, то он остается в принципе бессмертным: он не умирает, а делится на две новые клетки. Многоклеточные организмы, напротив, живут лишь определенное время.

Многоклеточный организм построен из клеток двух типов: половых и соматических, или клеток тела. Линия половых клеток образует спермии и яйца; после оплодотворения из зиготы снова образуются соматические клетки, которые смертны, и новые половые клетки. Таким образом, линия половых клеток потенциально бессмертна, точно так же как бактерии.

У растений есть особая ткань — *меристема*, которая построена из клеток, способных образовывать другие типы клеток растительного организма. Клетки меристемы в этом отношении сходны с половыми и в принципе тоже бессмертны; они обновляют ткани растения, и поэтому некоторые виды растений могут жить тысячи лет. Если меристема разрушается, то клетки тела уже не могут самовозобновляться и растение погибает. У примитивных животных (губок, актиний) есть аналогичная ткань, обновляющая их тело, и такие животные способны жить неограниченно долго.

У высших животных соматические клетки бывают двух типов. Некоторые из них, например клетки эпидермиса и другие, живут недолго, но они постоянно возобновляются за счет своего рода меристематической ткани. Но есть и такие клетки, которые во взрослом организме не делятся и потому не возобновляются. Таковы прежде всего нервные и мышечные клетки. Они подвержены гибели, и уже по одному этому организм не мог бы жить вечно.

Сегодня принято считать, что главная причина старения — утеря генетической информации. Молекулы ДНК, которые ее несут, постоянно повреждаются мутациями, и эти повреждения в конце концов приводят к гибели клеток и всего организма. Эта потеря генетической информации происходит, однако, гораздо медленнее, чем можно было бы ожидать, так как повреждения в ДНК

"залечиваются" специальными *репаративными* ферментами. Эти ферменты используют информацию, закодированную в одной цепи, для того чтобы восстановить структуру противолежащей цепи, так что повреждение, затронувшее только одну цепь, может быть поправлено. Хотя возможности репарации ограниченны, она имеет важное значение для организма.

Расмотрим теперь некоторые механизмы, определяющие продолжительность жизни. Сначала проанализируем клеточный уровень, а затем генный.

Прежде всего спросим себя: все ли организмы обязательно умирают? Вопрос может показаться очень простым, но однозначный ответ на него невозможен.

Половые клетки и сома

Если мы возьмем бактерию или одноклеточную водоросль и поместим ее в подходящие условия, то обычно она вскоре разделится на две дочерние клетки, те в свою очередь еще на две и так далее. Если ради практического удобства мы из каждых двух образующихся клеток будем оставлять лишь одну, получится такая последовательность:

C_1 → C_2, C
C_2 → C_3, C
C_3 → C_4, C
C_4 → C_5, C
C_5 → C_6, C

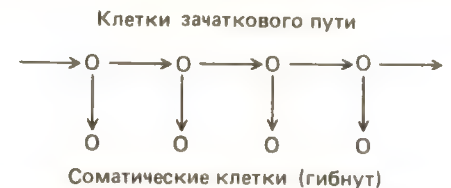
Поскольку мы не наблюдаем при этом спонтанной гибели клеток (за исключением тех, которые мы сами отбрасываем), можно заключить, что клетки "бессмертны". Они не обладают внутренним механизмом, который с неизбежностью приводил бы их к гибели спустя какой-то конечный, не очень долгий период времени: их

жизнь могут прервать лишь случайные, привходящие обстоятельства. С другой стороны, первоначальный организм после деления исчезает, и на его месте появляются два новых, отличных от него организма. От родительской клетки не остается трупа, но правы ли мы, считая организм бессмертным, или же нам следует сказать, что он все-таки умер, так как прекратил свое индивидуальное существование?

Аналогичный опыт можно провести и с многоклеточными организмами. Чтобы он был достаточно прост и максимально сходен с предыдущим, возьмем самку тли, которая размножается (во всяком случае в середине лета) партеногенетически, т. е. без оплодотворения самцом. Тля откладывает яйца, из которых затем развиваются взрослые самки, а те в свою очередь тоже откладывают яйца, и так далее. Таким образом линия поддерживается, хотя отдельные особи погибают независимо от условий жизни. В чем же состоит главное различие между “бессмертной” бактерией и смертной тлей?

У бактерий каждая клетка дает жизнь двум дочерним клеткам. У тлей или других многоклеточных животных, вне зависимости от способа размножения — полового или бесполого, мы тоже можем выделить часть тела, которая ведет себя подобно бактериям; это так называемая *репродуктивная* ткань, которая образует гаметы (яйцеклетки или спермии) и в следующем поколении в свою очередь способна дать начало новой репродуктивной ткани, опять образующей гаметы и т. д. Таким образом, эта ткань с физиологической точки зрения бессмертна, как и бактерии, и должна быть таковой, чтобы возможно было продолжение рода.

Но каждое поколение репродуктивной ткани, образующей, например, яйцеклетки, дает начало и клеткам иного типа, которые к неограниченному размножению не способны. Это *соматические* клетки (от греч. *сома* — тело), которые все гибнут вместе с данной особью:



Все сказанное выше можно резюмировать следующим образом:

1. Первоначально примитивные организмы, которые все были одноклеточными, сами играли роль половых (репродуктивных) клеток. Иными словами, соматические и половые клетки выступа-

ли в одном обличии. Деление давало две половые клетки, каждая из которых могла делиться и дальше. Линия половых клеток в принципе бессмертна.

2. С появлением более сложных, многоклеточных организмов одна из клеточных линий сохраняла функцию размножения и оставалась в принципе бессмертной, а другие клетки специализировались для построения тела (сомы) организма. Это тело смертно.

Меристемы

Если мы просто скажем, что одни клетки половые, а другие — соматические, это ничего не будет говорить о различиях между ними. Однако если мы на секунду примем, что такие различия существуют, и не будем далее углубляться в их природу, такое раздельное рассмотрение позволит нам понять ряд явлений, особенно характерных для растений.

Обычно у растения имеются так называемые меристематические ткани, или, грубо говоря, "точки роста"; клетки здесь все время делятся и способны давать начало всем другим тканям. По сути дела, это, конечно, репродуктивная ткань. Но у многих растений и даже у ряда животных различие между соматическими и репродуктивными тканями смазано: некоторые высокоспециализированные и дифференцированные клетки тела способны дать жизнь новой особи или по крайней мере набору различных типов клеток, которые могут сформировать части этой особи. В последнем случае мы имеем дело со своеобразной репродуктивной (зародышевой) тканью. Клон клеток, полученный из единичной клетки корня, можно культивировать в питательной среде. В подходящих условиях такие клетки способны формировать ткани, но это всегда будут только корни, а не листья или иные части растения. С другой стороны, некоторые типы клеток могут дать и целое растение, и они полностью соответствуют зародышевым.

Долгая жизнь благодаря "бессмертным меристемам"

Многие деревья могут жить очень долго благодаря меристемам. Ни одна клетка у них не старше нескольких лет, считая с момента ее образования в результате клеточного деления. Долговечность деревьев определяется их способностью формировать инертную древесину, на границе с которой продолжают расти новые клетки, порожденные меристемой. Живую часть дерева можно

уподобить газону на земле или лишайнику на скале, который существует очень долго, так как постоянно обновляется.

Если же способность формировать новые ткани утрачивается, то время жизни растения становится весьма коротким. Так, например, тропическое растение агава имеет лишь одну точку роста, где расположена меристематическая ткань, которая за 5–6 лет жизни растения образует до 300 листьев. Через 5–6 лет из точки роста развивается соцветие, и вскоре растение засыхает: меристема его разрушена, и клетки в тканях больше не обновляются. Такой ход событий среди растений не редок.

"Бессмертные" животные

Из этих наблюдений можно заключить, что если бы было найдено животное, у которого все клетки постоянно обновляются, оно было бы нестареющим или во всяком случае жило необычайно долго. И в самом деле, известно, что у актиний, например, непрерывно происходит замена одних клеток другими. Новые клетки образуются путем деления вокруг рта и постепенно сдвигаются вниз, к подошве, где отмирают. Оказалось, что некоторые актинии действительно живут очень долго. Известны примеры, когда в Шотландии актиний держали в аквариумах 70–80 лет. За это время они не проявляли никаких признаков старения и по-прежнему активно размножались почкованием. Поскольку их жизнь прекращалась только в результате случайностей (например, им забывали сменять воду), ее временной предел пока не установлен. Она вполне может быть неопределенно долгой. По-видимому, это относится и к некоторым губкам. Таким образом, если возможно обновление всех клеток тела, то продолжительность жизни и у животных может быть если не бесконечной, то очень большой.

Меристемы с ограниченной функцией у высших животных

Все "бессмертные" многоклеточные животные, напоминающие в этом отношении деревья, отличаются весьма примитивной организацией. Высшие животные больше похожи на агаву и сходные с ней растения с ограниченной продолжительностью жизни.

Человеческое тело, его сома, состоит из клеток двух типов: одни способны делиться, другие — нет. Неспособные к делению клетки в свою очередь можно подразделить на две группы:

А. Незаменимые клетки, которые после рождения никогда не делятся и не возникают в результате деления других клеток. Они должны сохраняться до конца жизни всего организма. Таковы нейроны (в том числе мозговые) и мышечные клетки.

Б. Заменимые клетки. Их существует множество разновидностей, и время их жизни коротко. Они не способны к самовоспроизведению, но постоянно образуются из других клеток особого типа. Таким образом происходит обновление клеток кишечного эпителия и поверхностного слоя кожи. Эритроциты (красные кровяные клетки) образуются из эритробластов костного мозга. Незрелые предшественники дифференцированных клеток называются "стволовыми" клетками. Они сходны с клетками меристемы растений, но отличаются от последних тем, что могут производить лишь ограниченное число разновидностей других клеток, а часто — всего одну.

Стволовые клетки высших животных до недавнего времени считали физиологически бессмертными, способными к бесконечному делению, особенно если извлечь их из стареющего тела и выращивать в клеточной культуре. Однако позже было выяснено, что такие клетки все же не могут делиться бесконечно. Например, если выделить из человеческого эмбриона фибробласты (будущие клетки соединительной ткани) и культивировать их в пробирке, то они делятся максимум пятьдесят раз. По мере старения такой культуры все большее число клеток теряет способность к делению, и в конце концов оно прекращается вовсе. Как и можно было ожидать, клетки, взятые от взрослых особей, способны проходить меньшее число циклов деления. Взятые от человека в возрасте до 20 лет, они делятся 30 раз, а от тех, кому за двадцать — около 20 раз. Способность к делению с возрастом уменьшается, хотя строгой зависимости здесь нет.

Фибробласты из эмбрионов животных с меньшей продолжительностью жизни (например, крыс или морских свинок) способны делиться только пятнадцать раз, а взятые от особей старшего возраста — еще меньше.

Эти наблюдения сразу наводят на мысль, что ограниченное число делений стволовых клеток ставит верхний предел продолжительности жизни: понятно, что если в организме не могут больше формироваться в достаточном количестве эритроциты или клетки иных типов, то такой организм становится нежизнеспособным. Эта мысль могла бы быть верной, если бы особи жили достаточно долго, чтобы исчерпать свой лимит клеточных делений. Сегодня, однако, полагают, что фактически продолжительность жизни короче этого времени, так что в определенном смысле прямой связи здесь может не быть.

Невосполнимые потери клеток

Другая возможность объяснить старение и смерть состоит в предположении, что в организме что-то происходит с "незаменимыми" клетками. И животные, и растения построены хотя бы частично из таких клеток (как, например, нейроны), которые не способны к делению и не образуются из клеток иного типа. Постепенно такие клетки по не ясным еще причинам отмирают, а поскольку замены им нет, гибнет в конце концов и весь организм. Если такое представление верно, то можно ожидать, что незаменимых клеток с возрастом будет оставаться все меньше. Действительно, число нейронов в мозгу рабочей пчелы за 50 дней уменьшается приблизительно вдвое. У человека в преклонном возрасте потеря нейронов в некоторых отделах мозга может достигать около 20%. Другим хорошо известным примером у человека служит большое сокращение числа работающих почечных клубочков, которые фильтруют кровь.

Интенсивность жизненных процессов

Сказанное выше дает серьезные основания предполагать, что уже сами клетки (соматические, но не половые) подвержены старению, которое в конечном счете приводит организм к гибели. Независимо от конкретного механизма мы вправе думать, что старение — результат химических и физических процессов. Поскольку скорость химических реакций с уменьшением температуры снижается, можно ожидать, что будет замедляться и старение, а продолжительность жизни увеличится. Нередко это так и бывает. На рис. 16-1 показано, как влияет температура на продолжительность жизни небольшого рачка. При высокой температуре время жизни невелико, но по мере ее понижения увеличивается. Еще один способ удлинить жизнь — это уменьшить потребление пищи, так как в результате снижается интенсивность обмена веществ. Например, если моллюск блюдечко питается хорошо, то он быстро растет, но рано умирает, тогда как другие особи, которые растут медленно, живут гораздо дольше.

Ограничения в пище в определенное время могут существенно увеличить продолжительность жизни мышей и крыс. Крысу надо сразу после отъема от матери и до наступления половой зрелости держать на рационе, замедляющем рост. Продолжительность жизни таких крыс по сравнению с нормой может удвоиться. Такая диета продлевает "детство" крыс. Они становятся очень проворными, у них реже развиваются опухоли и болезни легких, хотя в

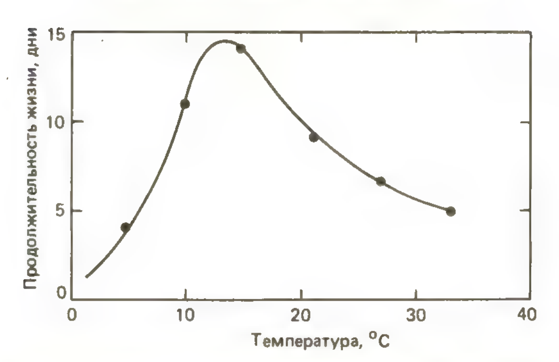


Рис. 16-1. Продолжительность жизни водяной блохи *Miona* в зависимости от температуры среды.

возрасте двух-трех лет большинство из них слепнет. Это говорит о том, что процесс старения глаз не замедляется.

Такой способ продления жизни для человека, к сожалению, не годится. Чем определяется получаемый результат, пока в точности не известно. Недостаточное питание в детстве скорее уменьшает, чем увеличивает продолжительность жизни людей. Может быть, это даже хорошо, что открытия на крысах неприменимы к людям: сомнительно, чтобы увеличение продолжительности лишь одного периода жизни — детства и юношества — удовлетворило всех.

Запрограммированная смерть

"Темп жизни", видимо, и в самом деле является одним из факторов, влияющих на ее продолжительность. Различия в длительности жизни у разных видов позволяют думать, что по крайней мере некоторые организмы запрограммированы жить определенное время, или, как иногда говорят, в них заложена программа, приводящая к смерти. Это означает, что они в принципе могли бы жить долго, но некий специальный внутренний механизм ("часы") делает жизнь короче.

Яркий пример запрограммированной смерти — гибель тихоокеанских лососей. На четвертом году жизни лососи перестают питаться и начинают мигрировать из океана в ту речку, где в свое время вывелись из икры. Там они нерестятся и вскоре после этого умирают. Происходит это не потому, что рыбы растрачивают запасы жира и белка. Некоторые особи плывут тысячи миль до мест

нереста и действительно могут истощиться, но другие мигрируют совсем недалеко и тем не менее тоже гибнут.

Смерть после нереста у лососей обусловлена, видимо, активацией коры надпочечников гормонами половых желез. В результате надпочечники в избытке производят гормоны, которые, скорее всего, и вызывают смерть. Если рыб кастрировать, они не умирают. Тогда рыбы продолжают расти, их вес увеличивается и на восьмой год (что вдвое больше нормальной продолжительности жизни) превышает 1 кг. У человека, однако, дело обстоит иначе. С древних времен известно, что кастрация мужчин и женщин не замедляет и не ускоряет процессов старения и не влияет на продолжительность жизни.

Наследуемость долголетия

Уже давно существует широко распространенное представление о роли наследственности в долголетии. Отсюда и шутливый совет: если хотите жить долго, выбирайте себе предков-долгожителей. Конечно, влияние наследственности неоспоримо, но, вероятно, преувеличено. Если ваши предки жили долго, то в возрасте 25 лет ожидаемое время дальнейшей жизни будет для вас всего лишь на 2–4 года больше среднего. Было бы, однако, неверно думать, что продолжительность жизни в целом, а также различные участки кривой смертности не зависят от наследственных факторов. Ученые сегодня считают даже, что сам процесс старения обусловлен потерей генетической информации.

Потеря генетической информации как причина старения

Клетки вовсе не статичные образования, и большинство входящих в их состав крупных макромолекул, поврежденных и целых, все время разрушается, и вместо них синтезируются новые. Впрочем, это не всегда так. Макромолекулы ДНК, которые содержат информацию для построения других биополимеров, тоже иногда повреждаются и после этого могут "ремонтироваться", но не заменяются новыми. Сегодня принято считать, что именно в результате потери части информации, хранящейся в ДНК, и происходит старение, а продолжительность жизни определяется способностью репаративных систем "чинить" поврежденные участки ДНК и тем самым сохранять информацию.

Повреждение и восстановление (репарация) ДНК

В клетках, готовящихся к делению, происходит синтез новых копий ДНК. В процессе этого копирования возможны ошибки. Они меняют смысл генетических инструкций, т. е. возникают мутации. Мутации происходят и в неделящихся соматических клетках — либо спонтанно, либо под влиянием ионизирующих излучений или химических агентов окружающей среды. Поскольку в большинстве своем мутации вредны, а многие приводят даже к гибели клеток, ясно, что если подождать достаточно долго, то в конце концов каждая клетка настолько пострадает из-за разрушения ее наследственной информации, что уже не сможет выжить. Поэтому если некоторые клетки организма совершенно необходимы для его жизни и не могут быть заменены в результате клеточного деления, то именно мутации будут определять максимальную продолжительность его существования: такой организм в принципе не может быть бессмертным.

Предположение о том, что длительность жизни лимитируют накапливающиеся в клетках мутации, получило название *гипотезы соматических мутаций*. Одно из свидетельств в пользу этой гипотезы — раковое перерождение клеток. Сейчас уже доказано, что рак в основном вызывается мутациями в соматических клетках и частота его возникновения резко увеличивается с возрастом. Это позволяет думать, что происходящие в соматических клетках мутации способны накапливаться. Сегодня мы знаем также, что часть повреждений в ДНК может быть исправлена, и это сильно замедляет потерю генетической информации.

Исправление дефектов в ДНК

При репликации ДНК ее новая цепь строится на существующей цепи как на матрице. Нуклеотиды при этом располагаются по правилу комплементарности против соответствующих нуклеотидов старой цепи. Хотя точность первоначального копирования не очень велика, при репликации ДНК в живой клетке в конечном результате вероятность ошибки при включении очередного нуклеотида составляет всего лишь от 1 на 1000 до 1 на 10 млрд., то есть чрезвычайно мала. Это обеспечивается рядом механизмов, в том числе работой "редактирующих" ферментов.

Когда ДНК не реплицируется, в ней все же происходят разнообразные спонтанные изменения, например потеря пуриновых оснований A и G, которые выщепляются из ее молекул, оставляя "пустые" места против T и C комплементарной цепи. Эти процес-

сы идут довольно быстро: за время одного клеточного поколения клетка может терять около 10 000 нуклеотидов ДНК. Однако и в этом случае репаративные ферменты (репаразы) восстанавливают исходную последовательность нуклеотидов.

Основной механизм, используемых при "редактировании" и "ремонте" ДНК, можно показать на примере действия ферментов-репараз. При повреждении ДНК дефект может быть выражен в разной степени, но чаще всего он возникает лишь в одной из цепей двойной спирали. Ферменты-репаразы "проверяют" правильность структуры спирали, и если обнаруживают разрыв одной из цепей, утрату ее участка, нарушение правил комплементарности (против A всегда T, против G всегда C) или присоединение посторонней химической группы, то удаляют дефектный отрезок цепи. Вместо него они синтезируют новый участок, комплементарный противолежащей цепи. Иными словами, идет ограниченный синтез новых участков ДНК для замены старых; в этом смысле ДНК все же обновляется, но очень выборочно — только там, где это необходимо.

"Редактирующие" ферменты действуют сходным образом. По мере добавления нуклеотидов к растущей цепи ДНК фермент проверяет, комплементарны ли они соответствующим нуклеотидам матрицы. Если все правильно, рост цепи продолжается, а если нет, то ошибочно присоединенный нуклеотид удаляется с последующей заменой его другим.

При такой проверке фермент, конечно, не "соображает" чтó надо делать, как это могло бы на первый взгляд показаться. Когда он взаимодействует или связывается с чем-то, это просто вызывает изменение в его структуре, что в свою очередь влияет на его активность.

Фактически происходит вот что: "редактирующий" фермент связывается с последним из присоединенных нуклеотидов, и если основания в этом нуклеотиде и в матрице комплементарны, т. е. подходят друг к другу, то создается конфигурация, способная взаимодействовать с ферментом; при этом взаимодействии изменяется конфигурация самого фермента и он отделяется от растущей цепи ДНК. В результате цепь остается неизменной — такой, какой она была синтезирована.

Если основания не комплементарны, то они не могут "правильно" взаимодействовать с ферментом. Его молекула приобретает тогда иную форму, он активируется и вырезает неподходящий концевой нуклеотид. Сходным образом действуют и репаративные ферменты, когда проверяют комплементарность между противолежащими участками двух цепей ДНК.

Значение репарации

Насколько важно для клетки уметь исправлять дефекты в своей ДНК? Ответ на этот вопрос можно получить, спросив саму клетку, придает ли она репарации большое значение. Ответ бактериальной клетки будет таков: да, значительно больше одного процента (а возможно, несколько процентов) из двух тысяч ее генов кодируют белки, участвующие в репарации; значит, это весьма важная функция.

Еще более ясный ответ мы получим, если понаблюдаем за последствиями нарушения репаративной системы. У человека известно заболевание пигментная ксеродерма, встречающаяся с частотой 1 на 200 000 населения в Европе и Северной Америке и 1 на 40 000 — в Японии. Оно, видимо, вызывается мутацией в гене фермента ДНК-репаразы в клетках кожи. В норме этот фермент удаляет из ДНК остатки тимина (Т), поврежденные ультрафиолетовыми лучами. У гомозиготного организма, получившего дефектный ген и от отца, и от матери, эффективность удаления тимина сильно понижена. Наиболее заметные проявления этой болезни — сухая, покрытая пятнами и чрезвычайно чувствительная к солнцу кожа, большая предрасположенность к раку кожи, а также неврологические симптомы. Некоторые клетки (фибробласты) больных обладают повышенной чувствительностью к действию веществ, среди которых азотистый аналог иприта, известного боевого отравляющего вещества, который вызывает повреждения, взаимодействуя с основаниями ДНК. По-видимому, удаление таких присоединившихся к ДНК групп тоже затруднено.

Существует и ряд других наследственных болезней, к счастью довольно редких, которые, видимо, обусловлены врожденными дефектами системы репарации ДНК. Поскольку в всех этих случаях некоторая репарация все же происходит, ясно, что полное ее отсутствие, вероятнее всего, несовместимо с жизнью, даже у бактерий.

Отметим, что "редактирование" и "исправление" ДНК возможны только потому, что информация в ее цепях дублирована: если она теряется в одной цепи, то может быть восстановлена на основе другой, неповрежденной цепи. Это понятно, так как информация не может появиться ниоткуда. Далее, репаративная система сама не свободна от ошибок. Иногда может случиться, что будет вырезан "верный" участок и вставлен вместо него "неверный", так что абсолютно безошибочная репарация невозможна. Хотя большинство поврежденных участков ДНК восстанавливается правильно, какая-то часть дефектов неизбежно остается. Процесс репарации лишь замедляет, но не устраняет накопление ошибок.

Репарация ДНК и эволюция старения

В результате многих исследований теория, объясняющая старение накоплением дефектов в ДНК, приобрела сейчас значительную популярность. Согласно этой теории, генетический материал клеток, в особенности незаменимых, постоянно повреждается, и эти повреждения хотя и сводятся к минимуму, но не устраняются полностью ферментами репарации. Видовая продолжительность жизни различна потому, что эволюция, так сказать, решила, какие сроки оптимальны для тех или иных видов, и контролирует это двумя способами. Во-первых, она дала каждому виду средства репарации подходящей для него — большей или меньшей — эффективности, поддерживающие жизнь. Во-вторых, она всегда может повысить или понизить роль факторов, вызывающих повреждения ДНК. Тогда продолжительность жизни будет определяться размерами повреждений и эффективностью их устранения. Регулирующая все это система может быть весьма сложной, как и многие другие биологические системы. Отбросив детали, можно заключить: весьма вероятно, что старение и смерть надо рассматривать как следствие накопления ошибок в ДНК.

Глава 17

Сохранение генетической информации

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Хотя иногда новые мутантные гены могут способствовать появлению более приспособленных особей, в большинстве своем это вредные, а нередко и летальные гены; поэтому мутационный процесс постоянно "портит" и разрушает генетическую информацию. Жизнь тем не менее продолжается, так как подобные мутантные гены удаляются из популяции в процессе отбора.

Популяционная генетика изучает распределение аллелей, а также изменения их частот внутри популяций и причины этих изменений. Факторы, влияющие на частоты генов, — это мутационное давление и отбор. При постоянных темпах мутирования и коэффициентах отбора состав генного фонда в конце концов достигает равновесия.

Другая важная закономерность (она выражена уравнением Харди — Вейнберга) касается распределения аллелей внутри популяции, т. е. численного соотношения особей, гомозиготных или гетерозиготных по данному аллелю. Эта закономерность очень полезна, когда нужно вычислить частоту рецессивного аллеля в популяции. Из закона Харди — Вейнберга мы узнаём также, что при уменьшении общей частоты какого-то аллеля частота гомозигот по этому аллелю уменьшается еще быстрее; при низкой частоте аллеля он почти весь сосредоточен в гетерозиготах. Поэтому отбор, направленный против рецессивных генов, относительно неэффективен, так как он воздействует только на особей, гомозиготных по этим генам.

Доминантные аллели, если они вредны, быстро элиминируются, за исключением тех, действие которых проявляется лишь после окончания репродуктивного периода жизни. Пример — хорея Гентингтона, убивающая носителя не раньше примерно 40-летнего возраста.

Отбор против вредных аллелей большей частью происходит на ранних стадиях жизни. У человека лишь около трети всех зачатий

завершается родами, а внутриутробная смертность в значительной доле случаев обусловлена генетическими причинами.

Иногда аллель может быть одновременно и вредным, и полезным. Например, ген серповидноклеточной анемии в гомозиготном состоянии полулетален, а в гетерозиготном предохраняет от заболевания тропической малярией. Поэтому в малярийных местностях частота этого аллеля может быть весьма высокой. Возможно, что сходным образом обстоит дело и с болезнью Тея — Сакса: гомозиготы рано умирают, но гетерозиготы, как полагают, более устойчивы к туберкулезу. В таких случаях гетерозиготные индивидуумы, получающие преимущества от вредного аллеля, могут рассматриваться как генетические паразиты по отношению к гомозиготам, которые страдают или гибнут от него.

Обычно мы видим в отборе только движущую силу эволюции, но у него есть и другая функция. Отбор необходим также и для того, чтобы жизнь вообще могла продолжаться. Подобно всему остальному, генетическая информация имеет тенденцию деградировать и разрушаться; гены подвергаются мутациям, нарушающим их нормальное функционирование, и без противодействующего этому механизма мутационное давление привело бы к исчезновению жизни. Противостоит же разрушению именно отбор, устраняющий из популяций дефектные гены.

Каково распределение аллелей в популяции, почему и как частоты «хороших» и «плохих» аллелей изменяются с течением времени — эти вопросы изучает популяционная генетика.

Генофонд и частоты генов

Все гены определенного локуса в какой-либо популяции можно рассматривать как генофонд (по данному локусу). У диплоидных видов, к которым относится и человек, каждый локус представлен в генотипе особи дважды (за исключением некоторых локусов, находящихся в половой хромосоме), так что в популяции из N особей будет $2N$ генов данного локуса.

Частота какого-либо гена, или точнее аллеля — это число генов в форме этого аллеля, деленное на общее число генов данного локуса ($2N$) в популяции. Например, у человека (и у шимпанзе) имеется ген, определяющий способность ощущать вкус фенилтиомочевины; он представлен двумя аллелями — T и t. Люди с генотипом TT или Tt находят это вещество горьким, а с генотипом

tt — безвкусным. Популяция из 100 индивидуумов будет иметь 200 таких генов, из которых у человека примерно 110 будут представлены аллелем t, а 90 — аллелем T. Таким образом, в нашем случае частота гена t составит 110/200, т. е. 0,55, а гена T — 90/200, т. е. 0,45.

Мутации и мутационное давление

Мутации — это случайные изменения в генах, превращающие один аллель в какой-то другой. Они могут возникать "спонтанно" или под действием химических агентов и радиации (рентгеновских и космических лучей, а также излучений радиоактивных веществ).

Вероятность мутации данного локуса составляет от 1 на 10 000 до 1 на 100 млн. поколений, хотя обычно она приближается к величинам порядка 1 на 1 млн. Эти цифры могут показаться ничтожными, но поскольку ДНК организма содержит огромное число генов, можно ожидать, что число новых мутаций, появляющихся в гаметах, не будет столь малым.

Равновесие Харди — Вейнберга

Следующий важный вывод касается не только генных частот, но и распределения аллелей в популяции. Если даны частоты двух аллелей, A и a, то каковы будут частоты различных возможных генотипов — AA, Aa и aa?

Пусть частоты аллелей A и a равны соответственно p и q $(p + q = 1)$. Предположим также, что при спариваниях эти аллели комбинируются случайным образом; иначе говоря, у носителей, например, аллеля a отсутствует тенденция предпочитать брачного партнера с аллелем a или A. (Применительно к человеку это может, скажем, означать отсутствие склонности выбирать партнера с какой-то определенной группой крови.)

Если мы теперь начнем наугад брать пары из популяции гамет, то вероятность выбора двух a подряд будет равна $q \times q = q^2$. Это вероятность спаривания, в результате которого на свет появится потомок с генотипом aa. Таким образом, частота гомозигот в популяции — это просто квадрат частоты данного аллеля в генофонде. Предположим, например, что частота аллеля a равна 0,3; тогда частота, или доля, индивидуумов aa составит $0,3^2$, т. е. 0,09, или 9%. Частота аллеля A равна, конечно, $1 - 0,3$, т. е. 0,7; тогда частота индивидуумов AA будет $0,7^2$, или 0,49. Все остальные индивидуумы, частоты которых 0,42, будут гетерозиготами Aa.

Это, конечно, биномиальное распределение: $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$. Можно отметить, что хорошо известное менделевское соотношение: $1AA : 2Aa : 1aa$, получаемое при скрещивании $Aa \times Aa$, — частный случай такого распределения частот.

Приведем один пример. У человека один из генов групп крови имеет два аллеля — L^{M} и L^{N}. Ни тот, ни другой не доминирует, поэтому индивидуумы с генотипом $L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}}$ обладают группой крови M, $L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}}$ — группой крови N, а гетерозиготы $L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}}$ — группой MN.

В городе Асибецу (Япония) проводили определение групп крови M и N в выборке из 1482 человек (2964 гена). Получены следующие результаты:

Индивидуумы	*Число генов*	*Частота гена*
MM 406	$812L^{\mathrm{M}}$	
MN 744	$744L^{\mathrm{M}} + 744L^{\mathrm{N}}$	
NN 332	$664L^{\mathrm{N}}$	
Всего: 1482	$1556L^{\mathrm{M}} + 1408L^{\mathrm{N}}$	$L^{\mathrm{M}}1556/2964 = 0,525$
	$(1556 + 1408 = 2964)$	$L^{\mathrm{N}}1408/2964 = 0,475$

В популяции при случайном скрещивании в отношении аллелей M и N распределение индивидуумов в соответствии с законом Харди — Вейнберга при данных генных частотах должно быть следующим:

$$(0,525)^2 L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}} + 2 \cdot 0,525 \cdot 0,475 L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}} + (0,475)^2 L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}},$$

или

$$0,2756L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}} + 0,498L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}} + 0,2256L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}}.$$

Тогда можно ожидать следующей численности трех групп:

Генотип	*Ожидаемое число*	*Фактически найденное число*
$L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{M}}$	$1482 \cdot 0,2756 = 408$	(406)
$L^{\mathrm{M}}L^{\mathrm{N}}$	$1482 \cdot 0,4988 = 739$	(744)
$L^{\mathrm{N}}L^{\mathrm{N}}$	$1482 \cdot 0,2256 = 334$	(332)

Соответствие между ожидаемыми и найденными числами превосходно. Это означает, что браки между людьми с различными группами крови и в самом деле случайны.

Подобное распределение частот остается тем же самым из поколения в поколение. Оно было названо равновесием Харди — Вейнберга по имени английского математика Харди и немецкого физиолога Вейнберга, открывших этот закон независимо друг от друга. Относительно Харди говорят, что проблему поставил перед

ним Пеннет — один из пионеров генетики — во время совместной игры в гольф. Харди задача показалась тривиальной, и он тотчас нашел ее решение, даже не подозревая, что знание элементарной алгебры обессмертит его имя среди генетиков.

Одно из важнейших практических применений закона Харди — Вейнберга состоит в вычислении частоты рецессивных аллелей. Гомозиготные рецессивы *aa* выявляются очень легко, а вот с гетерозиготами *Aa* дело сложнее. Тем не менее общую частоту рецессивного аллеля, встречающегося в виде *aa* и *Aa*, можно сразу вывести из равновесия Харди — Вейнберга. Так как $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$, частота гомозигот, известная в результате наблюдений, равна квадрату частоты соответствующего гена, т. е. q^2; поэтому частота гена q равна квадратному корню из частоты гомозигот.

Приведем пример. В человеческих популяциях частота альбиносов, носителей генотипа *aa*, равна 1 на 20 тысяч, или 0,005. Отсюда частота q аллеля a составляет $(0,00005)^{1/2} = 0,00707 = 1/141$, т. е. 1 аллель из 141. Поскольку каждый индивидуум имеет два локуса, один из 71 является носителем гена альбинизма.

Очень важный вывод, вытекающий из закона Харди — Вейнберга, состоит в том, что в случае редкого аллеля число гетерозигот, определяемое как $2pq$, гораздо больше числа гомозигот, т. е. q^2. Эта особенность выражена тем сильнее, чем ниже генная частота q. Число гомозигот очень чувствительно к этой частоте, так как оно пропорционально ее квадрату. Это видно из следующей таблички:

Частота гена	*Частота гомозигот*
1,0	1,0
0,1	0,01
0,01	0,0001
0,001	0,000001

Генетический груз

Дефектные гены возникают в результате мутаций и устраняются отбором. По мере того как частота рецессивного аллеля становится все ниже под действием направленного против него отбора, удаление его из популяции замедляется пропорционально квадрату его частоты. В конце концов наступает момент, когда скорость удаления уравнивается с появлением новых аллелей путем мутаций, и в дальнейшем поддерживается равновесная частота.

Интенсивность отбора против какого-либо генотипа можно выразить коэффициентом отбора s. Если такого отбора нет, $s = 0$; если же отбор полностью предотвращает передачу данного генотипа потомству, $s = 1$. При заданных s и m (m — частота мутаций) равновесная генная частота определяется по формуле

$$Q_{\text{равн.}} = \sqrt{m/s}.$$

Количество дефектных генов, присутствующих в каждый данный момент в популяции, называют *генетическим грузом.*

Отбор на протяжении жизни

Хотя отбор против вредных аллелей продолжается в течение всей жизни, большая его часть падает на ранний период. Во время эмбрионального развития вначале закладывается общий план строения тела, а затем уже формируются все более и более тонкие детали. Поэтому мутации в генах раннего действия с большей вероятностью приводят к глубоким аномалиям развития и важным биохимическим дефектам, чем изменения в генах позднего действия. Интенсивность отбора на ранних стадиях жизни человека демонстрирует следующая табличка (из L. L. Schlesslman. Am J. Obstet. Gynecol. **135**, 135, 1979):

Недели после овуляции	*Выжившие, %*
1	69,0
2	42,0
10	34,1
30	31,4
К моменту родов	31,0

Из-за технических трудностей эти данные не очень точны, но они показывают, что чем моложе плод, тем выше для него вероятность погибнуть. Около 2/3 всех зародышей гибнет до рождения. Большинство из них имеют хромосомные аномалии или другие генетические дефекты, хотя могут быть и другие причины гибели. Именно благодаря этой внутриутробной смертности большая часть рождающихся младенцев относительно здоровы в генетическом отношении.

Отбор продолжается и дальше. Физиологически плод млекопитающегося можно считать паразитирующим на организме матери, что намного облегчает ему жизнь; например, весь газообмен в утробном периоде совершается через легкие матери. Однако после рождения младенцу приходится пользоваться собственными

легкими, и поэтому многие дефекты проявляются только после рождения. В результате в течение некоторого времени здесь наблюдается значительное повышение смертности.

Остальные дефекты, не приведшие к гибели в процессе раннего отбора, сохраняются на долгие годы. Мышечная дистрофия, муковисцидоз, серповидноклеточная анемия и многие другие патологические состояния довольно рано прерывают жизнь, сахарный диабет — обычно намного позже.

Отбор против рецессивов

Большая часть вредных мутаций приводит к появлению рецессивных аллелей, которые дают фенотипический эффект только в "двойной дозе", т. е. у гомозигот *aa*, но не у гетерозигот *Aa*. Так как отбор может устранять лишь ту часть этих генов, которая находится в гомозиготах, этот отбор весьма неэффективен. Если частота аллелей *a* составляет 0,01, лишь 1% их $(0,01/0,01^2)$ находится в гомозиготном состоянии и подвержен отбору. А если их частота 0,001, то в гомозиготном состоянии будет еще меньшая доля — $0,001/0,001^2$, или 0,1%. Таким образом, если даже отбор против аллеля *a* настолько жесток, что особи с генотипом *aa* никогда не оставляют потомства, он становится все менее и менее эффективным по мере уменьшения частоты *a*.

Отбор против доминантов

Доминантный ген проявляется и в гетерозиготах *Aa*. Против возникшего опасного доминанта тотчас же начинает действовать отбор, и его частота в популяции, как правило, не достигает высокого уровня. Есть, однако, важное исключение, которое мы сейчас рассмотрим.

Аллели с поздним проявлением

Ген может быть доминантным и летальным и все же довольно широко распространяться в популяции. Такая, казалось бы, парадоксальная ситуация создается тогда, когда аллель становится летальным после окончания репродуктивного периода и потому не мешает его носителю производить потомство. Один из таких случаев — хорея Гентингтона у человека. Эта болезнь вызывается доминантным геном и встречается с частотой около 1:27 000. Она

проявляется в дегенерации мозга, которая в конце концов приводит к смерти в среднем через 15 лет после начала заболевания. Появление первых симптомов приходится на возраст около 35–40 лет, когда человек обычно уже успел обзавестись потомством, так что ген, будучи физиологически летальным, не пресекает тем не менее собственного распространения. В силу доминантности гена половина потомков его носителя будет подвержена заболеванию. Хорея Гентингтона коварна вдвойне: во-первых, тем, что в среднем половина людей, один из родителей которых стал ее жертвой, тоже умрет от нее, и, во-вторых, тем, что обычная "генетическая консультация" здесь вряд ли поможет и внукам — во многих случаях они родятся еще до того, как в семье появятся признаки генетического дефекта.

Селективное преимущество гетерозиготности

Практически действие аллеля не всегда можно однозначно охарактеризовать как доминантное или рецессивное, вредное или благоприятное. Пример, который можно найти в любом учебнике, — аллель серповидноклеточной анемии H^s у человека, приводящий к образованию дефектной формы гемоглобина HbS. У гомозигот H^sH^s весь гемоглобин представлен в аномальной форме, что обусловливает хрупкость эритроцитов и приводит к тяжелой анемии. У гетерозигот H^aH^s имеется как нормальный гемоглобин HbA, так и серповидноклеточная форма HbS, однако у них нет аномальной хрупкости эритроцитов. Поэтому гетерозиготы не страдают серповидноклеточной анемией, хотя в стрессовых ситуациях у них могут возникать некоторые симптомы. Состояние гетерозигот называют "серповидноклеточностью", но это уже не анемия. Гетерозиготность можно легко выявить: эритроциты при воздействии CO_2 приобретают серповидную форму. Таким образом, аллель H^s не вполне рецессивен, он может и в гетерозиготном состоянии давать заметный фенотипический эффект.

Ген серповидноклеточной анемии встречается главным образом в тропической Африке. Так как вызываемая им анемия достаточно серьезна, против него должен действовать мощный отбор, и все же для гена такой высокой летальности частота его там, где он есть, невероятно высока. Объяснить это можно следующим образом.

Хотя гомозиготное состояние полулетальное, гетерозиготность повышает устойчивость организма к возбудителю тропической малярии. Поэтому аллель H^s подвержен двум противоположно на-

правленным селективным давлениям. С одной стороны, отбор против гомозигот — больных с тяжелой анемией — снижает его частоту; с другой стороны, отбор в пользу гетерозигот, не страдающих анемией и более устойчивых к возбудителю малярии, приводит к повышению частоты этого аллеля в малярийных областях. С одной стороны, аллель летален, с другой — выгоден. Там, где распространена тропическая малярия, отбор благоприятствует аллелю H^s: в некоторых частях Африки частота гетерозигот может достигать 40%, а на полуострове Халкидики в Греции — 30%.

По этой причине иногда говорят, что ген серповидноклеточной анемии "выгоден" популяции в целом. Может быть, это и так, но "выгода" от дефектного гемоглобина обходится весьма дорого. Чтобы были устойчивые к малярии гетерозиготы, должны появляться также и гомозиготы, так что гетерозигот, выигрывающих от мутантного аллеля, можно в известном смысле рассматривать как генетических паразитов: они паразитируют на гомозиготах, которые страдают и умирают от этого. Вряд ли кто-нибудь сознательно сделал бы такой выбор при наличии альтернативы. Но естественный отбор, так восхваляемый социал-дарвинистами, способствует лишь выживанию популяции и не заботится о человеческом счастье.

У человека известно и несколько других случаев, когда гены, весьма зловредные в гомозиготном состоянии, могут быть полезны для гетерозигот. Один пример — болезнь Тея — Сакса, проявляющаяся в нарушении жирового обмена; гомозиготы погибают от нее уже в раннем детстве. Среди евреев ашкенази, особенно тех, которые происходят из области бывшей Австро-Венгрии, частота гена исключительно велика — порядка 0,09–0,11. Предполагают, судя по некоторым данным, что гетерозиготы более устойчивы к туберкулезу. Действительно, хорошо известно, что евреи-ашкенази по сравнению с большинством других европейских популяций менее восприимчивы к нему.

Ген идиопатического гемохроматоза может быть полезен женщинам, но оказывается вредным, а иногда и летальным для мужчин. Он вызывает повышенное всасывание железа из кишечника. Так как женщины обычно теряют много железа при менструальных кровотечениях, этот ген для них может оказаться полезным или во всяком случае менее вредным в зависимости от количества железа в пище. У мужчин он приводит к постепенному накоплению железа в тканях, что при большом содержании Fe в пище может в конце концов привести к отравлению организма. Однако это случается лишь в пострепродуктивном возрасте, поэтому отбор против аллеля выражен слабо. Частота аллеля составляет у

европейцев и американцев около 0,1. Это один из самых распространенных аномальных генов.

Возможно, существуют и другие гены с полезным или вредным действием в зависимости от "дозы". Во всех таких случаях преимущества достаются одним особям — гетерозиготам, а цену, часто непомерную, приходится платить другим — гомозиготам.

Глава 18

Гальтон встает из мертвых

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Вредные гены ложатся тяжелым бременем на популяцию и проявляются в виде наследственных заболеваний. Симптомы таких заболеваний иногда можно бывает облегчить соответствующим лечением, но, как правило, лишь в незначительной степени. Кроме того, если лечение эффективно и больной получает возможность производить потомство, вредный ген остается в популяции и в конце концов становится причиной появления очередной жертвы.

Устранить причину, а не следствие — таково радикальное решение, предлагаемое евгеникой, которая стремится удалить вредные аллели из генофонда путем отбора. Однако отбор состоит в том, что носители вредных аллелей, сами обычно здоровые, отстраняются от продолжения рода. Против такого решения проблемы возражают общественность и церковь, оппозиция которых в конечном счете проистекает из глубоко укорененных поведенческих склонностей, свойственных всем видам и выражающихся в стремлении особей к воспроизводству. Кроме того, существуют технические трудности. Поскольку большая часть вредных аллелей рецессивна, отбор может производиться только против гомозигот; но такой отбор действует настолько медленно, что практически бесполезен. По этим причинам предложения евгеников не имели успеха. Однако благодаря прогрессу науки ситуация сейчас несколько изменилась.

Теперь мы можем прямо определять последовательность нуклеотидов в ДНК и таким образом выявлять рецессивный аллель в гетерозиготном состоянии. Значит, становится технически возможным и отбор против скрытых носителей рецессивных аллелей, который намного более эффективен, хотя возражения общественности, разумеется, остаются.

Есть и другая возможность — амниоцентез, позволяющий определять генотип у утробного плода. При обнаружении серьезного генетического дефекта можно сделать аборт и посоветовать родителям зачать ребенка еще раз. Такие новые методы, как имплан-

тация яйца, оплодотворенного вне организма, тоже открывают возможности для евгенических манипуляций, так как позволяют контролировать генотип зиготы.

В будущем, вероятно, в принципе можно будет *направленно* изменять геном с помощью методов генной инженерии, что устранит необходимость отбора. Изменения в геноме соматических клеток не передаются потомству, но изменения в гаметах становятся наследственными. Поскольку нельзя предвидеть конечные последствия существенных изменений в геноме, возникли опасения, что человек может — намеренно или по неосторожности — переделать себя с помощью генной инженерии в новый и, возможно, менее симпатичный вид.

Генетический груз действительно ложится тяжелым беременем на родителей и родственников, не говоря уже о самой жертве. Рождение ребенка с серьезным наследственным дефектом — большая трагедия. Даже менее значительные аномалии достаточно неприятны. С точки зрения индивидуума можно сказать, что чем менее вредна мутация, тем меньше ее последствия. Однако для популяции в целом это, увы, не совсем так. Существует своего рода “закон сохранения ущерба”. Чем слабее вредное действие аллеля, тем дольше он сохраняется в популяции, пока не будет устранен отбором, а значит, тем продолжительнее будет его отрицательное влияние и тем больше индивидуумов пострадают от него. Каждая мутация, приводящая к появлению чрезвычайно вредного аллеля, тяжело поражает одного или нескольких индивидуумов. Менее опасный аллель поражает, хотя и менее серьезно, намного больше индивидуумов в течение более долгого времени. Можно ли уменьшить частоту или последствия таких событий?

Лечение

Некоторые наследственные заболевания в той или иной степени поддаются лечению. Гемофиликам, например, помогает переливание определенных белков крови от здоровых доноров, больным серповидноклеточной анемией — переливание эритроцитарной массы, диабетикам — инсулин и другие препараты. Но в большинстве случаев лечение затруднено или вообще невозможно, а иногда оно немногим лучше болезни, как, например, “излечение” ретинобластомы путем удаления глаза.

В случае успеха терапия приносит облегчение данному больному, но за это расплачиваются потомки. Если больной доживает

до репродуктивного возраста, аллель остается в популяции и рано или поздно настигает новую жертву. В этом смысле лечение сходно с изгнанием бесов. Когда-то думали, что некоторые болезни связаны с одержимостью злыми духами[1]. Так, эпилепсия в переводе с греческого означает "одержимость" (злыми духами). Лечение заключалось в том, чтобы изгнать их, заставить уйти, и это было легче сделать, если духам предоставлялось другое жилище. И заклинатели духов нередко занимались тем, что за плату просто перегоняли нежелательных гостей из одной жертвы в другую. Иногда новыми хозяевами могли стать животные, как в притче о Гадаринских свиньях. Но в Писании (Марк, V, 13) ничего не говорится о том, куда подевались бесы, после того как свиньи утонули.

Вредный аллель аналогичен изгоняемому злому духу. Конечно, здесь есть важное теоретическое различие: для того чтобы устранить симптомы, вызываемые аллелем, в принципе нет надобности передавать копию его другой жертве. Но хотя в принципе это и так, лечение может сделать такую передачу возможной. Насколько трудно в таких случаях бывает ее предотвратить, показывает пример с фенилкетонурией.

У человека два рецессивных гена, будучи в гомозиготном состоянии, вызывают болезнь фенилкетонурию. Эти гены блокируют нормальный обмен аминокислоты фенилаланина и вызывают переключение ее на другие биохимические пути, где она становится токсичной, и это часто приводит к тяжелой умственной отсталости. Но если ограничить поступление фенилаланина с пищей (что не просто, так как фенилаланин входит в состав почти всех белков), ребенок развивается более или менее нормально. А поскольку у взрослого человека мозг нечувствителен к избытку фенилаланина, особую диету можно прекратить после окончания детского возраста и считать человека "вылеченным". Однако это не совсем так. Концентрация фенилаланина в крови впоследствии снова становится высокой, поэтому у "вылеченной" женщины рождаются дети с необратимо поврежденным мозгом независимо от того, гомозиготна она по гену фенилкетонурии или нет. И это опять-таки можно предотвратить, если посадить мать на время всей беремен-

---

[1]Они могли "овладевать" человеком или "осаждать" его. Это различие чем-то напоминает деление на внутренних паразитов (глисты) или наружных (блохи, вши). Благочестивые люди были обычно защищены от проникновения в них духов, но часто подвергались их осаде. Житие святого Антония дает прекрасный тому пример. Его уединение в египетской пустыне часто нарушали осаждавшие его толпы прекрасных обнаженных женщин (на самом деле дьявол в ином обличии), но они никогда не смогли овладеть им. Однако многие другие люди, менее благочестивые, не были такими стойкими.

ности на диету с низким содержанием фенилаланина. Однако выявить таких женщин трудно, а еще труднее убедить их соблюдать диету, так как, несмотря на "успешное" лечение, интеллект их все же несколько отстает от нормы. Таким образом, выявление детей с фенилкетонурией и последующее выращивание их на специальной диете хотя и улучшает их состояние, но часто ведет к развитию той же болезни в следующем поколении.

С генетической точки зрения общий эффект лечения состоит в ослаблении отбора, направленного против мутантного аллеля, и мутационное давление в этом случае приводит к повышению его частоты до нового равновесного уровня. Обычно это повышение происходит медленно, но иногда может быть довольно быстрым. Благодаря лечению (удаление глаза) частота случаев ретинобластомы в Голландии заметно возросла.

Евгеника

Ввиду сказанного выше некоторые люди считают, что профилактика лучше лечения, и предлагают удалять вредоносные аллели из генофонда. Стремление улучшить генетическую природу человека получило название "евгеники" (от греч. эугенес — "хорошего рода"). Эта тенденция восходит по меньшей мере к Ликургу, полулегендарному основателю Спарты, рекомендовавшему согражданам не оберегать жизнь детей, слабых здоровьем.

Независимо от реализации этих принципов евгеника представляет интерес сама по себе как попытка изучать воздействия, производимые отбором. Но главная причина рассмотрения ее здесь связана с тем, что она с поразительной четкостью проиллюстрирует взаимодействие между научной информацией и технологическими достижениями, с одной стороны, и целями и предрассудками человеческого общества — с другой.

Евгеника может ставить перед собой две разные задачи. Одна из них заключается в попытке улучшить человеческую "породу", скажем, за счет приближения среднего уровня к уровню лучших ее представителей. Это позитивная евгеника. В современную эпоху это направление обычно ассоциируется с именем Фрэнсина Гальтона, двоюродного брата Чарлза Дарвина. Другая задача может состоять в удалении из генофонда явно вредоносных аллелей, таких, например, как ген муковисцидоза. Это негативная евгеника. Только она и будет рассматриваться здесь.

Негативная евгеника

По исходному замыслу она предполагает удаление из популяции вредных аллелей путем отбора. Однако большая часть таких аллелей рецессивна и устранялась бы подобным способом чрезвычайно медленно, и уже по одной этой причине (помимо всех прочих соображений) евгеника до недавних пор не имела практических перспектив.

Теперь, однако, открылась принципиальная возможность решения этой проблемы. Если идентифицировать гетерозиготных индивидуумов и затем проводить соответствующий отбор, вредоносный аллель можно будет удалить из популяции за одно поколение. И действительно, разработан метод, позволяющий выявлять гены как последовательности нуклеотидов ДНК. И если, скажем, 4,4% населения — носители муковисцидоза — воздержатся от участия в размножении в одном поколении, то этот ген исчезнет, если не считать редких новых мутаций.

Социальные аспекты евгеники

Но все это чисто теоретические рассуждения. Само по себе осознание того, что множество людей перестало бы страдать от наследственных болезней, подчас весьма тяжелых, едва ли приведет к изменению репродуктивной практики всей популяции. Этот вопрос неизбежно связан с политическими, социальными и религиозными факторами. Любые перемены в половом и репродуктивном поведении встречают активное противодействие. Отчасти дело здесь в том, что процесс воспроизводства имеет огромное значение для любого биологического вида, и это прочно зафиксировано в поведенческих стереотипах. Сказанное относится и к человеку; например, некоторые женщины, уже родившие нескольких генетически неполноценных детей и хорошо знающие, что их следующий ребенок подвержен такому же риску, тем не менее вполне добровольно продолжают производить потомство, и их нередко даже хвалят за решимость. Евгеника же снискала себе дурную славу из-за того, что призывала многих людей, в том числе фенотипически здоровых гетерозигот, воздерживаться от продолжения рода вопреки глубоко укоренившимся поведенческим стереотипам. Вот почему номинально евгеника умерла.

Новые формы евгеники

Евгеника опять возродилась, но уже под другими названиями, не вызывающими прежних ассоциаций. Это произошло благодаря но-

вым методам, особенно амниоцентезу, который дает возможность определить генотип утробного плода.

Предположим, что мы можем прямо распознать аллельные формы генов, "прочитывая" ДНК. Возьмем для примера рецессивный аллель c, ответственный за муковисцидоз. Если после анализа ДНК родителей их генотип окажется $CC \times cc$ или $CC \times Cc$, они могут быть уверены, что их ребенок не будет страдать этой болезнью, хотя он и может быть гетерозиготой Cc. Если же генотипы обоих родителей Cc, вероятность рождения ребенка с фенотипическим дефектом (т. е. гомозиготы cc) составляет 0,25. Когда беременность наступила, можно взять несколько клеток плода и определить их генотип. В случае cc можно прервать беременность и порекомендовать родителям использовать еще один шанс. При одной попытке вероятность рождения фенотипически здорового ребенка составляет $1-1/4 = 3/4$, при двух $1-1/6 = 15/16$ и т. д. Поскольку этот метод не требует полного отказа от рождения детей и более или менее гарантирует здоровое потомство, он не встречает тех возражений, которые прежде выдвигались против евгеники. Конечно, есть люди, возражающие против абортов, но вопрос о том, что хуже — аборт или муковисцидоз, выходит за рамки научной дискуссии.

Строго говоря, этот метод получения здорового потомства, будучи достаточно эффективным, не является евгеническим: он не снижает частоты рецессивного летального аллеля в популяции, если не производится одновременно отбор против гетерозигот Cc. Тем не менее амниоцентез можно считать психологическим прорывом в этой области, так как сейчас открываются и другие возможности. Одна из них — имплантация оплодотворенного яйца. Поскольку в принципе можно выбирать, какое яйцо следует имплантировать, а какое нет, здесь опять создаются условия для различных генетических манипуляций.

Клонирование

Несколько иной подход к изменению генотипа популяции, хотя вряд ли практически осуществимый, состоит в следующем. Можно удалить ядро из яйца лягушки и заменить его ядром, взятым из яйца другой лягушки; во многих случаях из полученной яйцеклетки разовьется взрослая особь. После того как такие эксперименты были впервые описаны, авторы научно-фантастических произведений, пытаясь помочь обществу, предложили следующую схему. Возьмем яйцеклетку, удалим из нее ядро и пересадим туда

ядро от какой-нибудь соматической клетки взрослого организма. В результате из такой яйцеклетки возникнет организм, столь же сходный с донором "чужого" ядра, как сходны между собой однояйцовые близнецы. Это позволило бы получать клоны, состоящие из множества генетически идентичных индивидуумов. В качестве ближайшей задачи можно поставить получение клонов высокопородных домашних животных. Если это давно уже делают с растениями, почему не попробовать и на животных? А если на животных, то почему не на человеке? Можно было бы производить клоны наших современных Ньютонов и Бетховенов, если найдутся достойные образцы. Или — в более прозаическом плане — создать идеальную армию исполнителей, никогда не подвергающих сомнению полученные свыше приказы.

Однако в дальнейших экспериментах с яйцеклетками лягушки возникли трудности. Если донором ядра служила другая яйцеклетка, все шло хорошо, но при использовании ядер из эмбриональных клеток уже меньшее число яиц развивалось во взрослых особей. Если же ядра брали из клеток взрослого животного, развитие вообще не происходило. Очевидно, по мере созревания организма клеточные ядра теряют способность программировать построение взрослой особи. С чем это связано, мы еще не знаем, а потому и не знаем пока, осуществимо ли предполагаемое выше клонирование.

Генетическая инженерия

В принципе необходимость в отборе отпадает, если можно будет вносить изменения непосредственно в гено́м с помощью так называемой генетической (генной) инженерии и таким образом делать с ге́ном все, что мы захотим. Это было бы окончательным решением всех евгенических проблем. Наши возможности пока еще далеки от этого, но решение частных задач становится все более доступным.

Генетическая инженерия означает изменение генома организма посредством квази-химических манипуляций над его ДНК. Манипулирование генетическим материалом требует знания многих деталей его биохимии; кроме того, сами методы интенсивно разрабатываются, и в близком будущем многое здесь должно измениться. Вот почему мы дадим лишь краткое описание основных принципов.

Предположим, что нам нужно ввести какой-то ген, т. е. отрезок цепи ДНК, в другую цепь ДНК. Эта операция производится in vitro, т. е. "в пробирке". Сама возможность подобного манипу-

лирования генами обусловлена комплементарностью цепей ДНК и существованием ферментов, создающих точные копии молекул ДНК, а также некоторых других ферментов, которые разрывают цепи ДНК в строго определенных местах и соединяют их определенным образом.

Первый шаг состоит в том, чтобы выделить и очистить подходящий фрагмент ДНК, содержащий тот ген, который надлежит перенести. Некоторые ферменты разрывают (путем гидролиза) цепь ДНК в любом месте. Однако сейчас известно множество ферментов специфического действия, расщепляющих ДНК только между определенными группами оснований. Например, один из них разрывает цепь в середине такой последовательности:

.... G T T : A A C ....
.... C A A : T T G ....
↑
Место разрыва

Другие ферменты разорвут цепочку в иных местах. Такие ферменты обычно распознают и разрывают участок из 4 или 6 оснований; какова последовательность за пределами этого участка, не имеет значения. Специфическая последовательность из 6 оснований встречается не так часто, и это позволяет расщепить довольно длинную молекулу ДНК не на беспорядочную кучу мелких обрывков, а не насколько строго определенных фрагментов. Эти последние можно затем рассортировать по длине с помощью различных методов. Таким образом в конце концов удается выделить нужный ген, кодирующий, например, человеческий инсулин.

Разумеется, очень трудно или вообще невозможно иметь дело с одиночными молекулами. В случае с ДНК задачу упрощают реплицирующие (копирующие) ферменты. С их помощью одну-единственную молекулу ДНК можно реплицировать, т. е. сделать много ее копий. Это называют клонированием. После этого "генный инженер" может работать с некоторой массой исходного материала, подобно химику-органику.

На различных этапах всей процедуры необходимо знать, с какого рода последовательностями ДНК мы имеем дело. Сейчас существуют разные методы, разработанные в основном английским биохимиком Сенгером, для определения последовательностей из нескольких тысяч оснований.

Допустим, мы хотим вставить сегмент X-X-X-X... из ДНК 1, который мы выделили, в реципиентную ДНК 2. Здесь мы берем одиночные цепи ДНК, а не двойную спираль, и используем то обстоятельство, что если две цепи комплементарны, то они соеди-

няются, образуя двухцепочечную молекулу. При этом, согласно правилу спаривания оснований, A (аденин) связывается с T (тимином), а G (гуанин) — с C (цитозином). Например:

AGGTGCAAT...

TCCACGTTA...

С помощью ферментов мы расщепляем реципиентную ДНК 2 в каком-нибудь подходящем месте и получаем здесь разрыв. Существует ряд ферментов, позволяющих добавлять нуклеотиды к одному из концов молекулы ДНК. К концам ДНК 1 мы можем добавить такую последовательность, как TTTT, а к реципиентной цепи ДНК 2 — комплементарную ей последовательность AAAA:

```
ДНК 1                      T=T=T=T=X=X=X=X=T=T=T=T
ДНК 2  ......O=O=O=O=Ȧ=Ȧ=Ȧ=Ȧ...............Ȧ=Ȧ=Ȧ=Ȧ=O=O=O=O
```

Благодаря комплементарности между A и T концы среднего сегмента ДНК 1 будут теперь связаны с концами сегментов ДНК 2. Еще один фермент заполняет разрыв в ДНК сегментом = Y = Y = Y = Y =, комплементарным к вставному сегменту ДНК 1:

```
ДНК 1                     =T=T=T=T=X=X=X=X=T=T=T=T
ДНК 2  ......O=O=O=O=A=A=A=A=Y=Y=Y=Y=A=A=A=A=O=O=O=O
```

ДНК 1 становится теперь частью цепи ДНК 2.

Так можно очень схематично описать принцип, лежащий в основе метода. Осуществить такую вставку на практике очень нелегко, но, располагая всем необходимым, можно взять участок ДНК и вставить в него нужный ген. Обычно это один из генов, встречающихся в природе, но в принципе может быть включен и синтетический ген — никогда прежде не существовавшая последовательность нуклеотидов.

Векторы

Все эти операции выполняются на ДНК, выделенный из клетки, но такая ДНК может функционировать, т. е. направлять синтез белков, лишь в том случае, если она будет успешно введена обратно в клетку. Для этого генетический материал прикрепляют к какой-либо нуклеиновой кислоте, которая естественным образом проникает внутрь клетки и может поэтому служить *вектором*, или переносчиком, того, что мы хотим ввести в клетку. В числе таких векторов — вирусы, которые проникают в эукариотические клетки

или бактерии, и вирусоподобные частицы, называемые плазмидами и специфичные для бактерий.

В принципе замещение дефектных генов в человеческом организме привело бы к радикальному избавлению от наследственных заболеваний; однако на практике в этом направлении пока очень мало что достигнуто, хотя в будущем положение может несколько измениться. Между тем включение новых генов в бактерии, которые могут после этого синтезировать такие полезные для медицины вещества, как человеческие гормоны и антитела, уже довольно успешно осуществляется и находит промышленное применение.

Одна из трудностей состоит в том, что новый ген должен быть встроен в хромосому в таком месте, где он окажется под контролем клеточных систем. Нас не устроит, скажем, если клетки мозга начнут вырабатывать пищеварительный фермент, например пепсин, обычно образующийся в желудке. Другая сложность связана с тем, что для получения полезного эффекта требуется "переделать" в организме не одну, а множество клеток.

Столкнувшись с этими в настоящее время почти непреодолимыми трудностями, ученые пытаются решить несколько более легкую задачу построения "искусственных органов". Предположим, что больной не способен вырабатывать какой-то гормон, фермент или антитело. Идея заключается в том, чтобы, взяв клетки из организма больного, ввести в них желаемый ген, а затем вновь вернуть в организм, после чего станет возможной выработка необходимого вещества. Уже делались попытки осуществить эту идею в клинической практике.

Инженерия гамет

Генетическая трансформация клеток тела, если она не затрагивает гамет (половых клеток), не окажет никакого влияния на потомство больного. Но при переделке гамет могут быть получены индивидуумы с измененным геном, и эти изменения будут наследоваться. Подобные результаты были уже получены на гаметах "трансгенных" мышей. Можно также внедрить какой-нибудь ген в одну клетку растения, которая будет расти, делиться и разовьется в целое растение — родоначальника нового сорта. Это выглядит и нередко преподносится как создание "новых форм жизни". Но можем ли мы создать действительно новые формы жизни?

Рассмотрим следующую, пока всего лишь воображаемую, ситуацию. Развитие грифа из яйца определяется его ДНК, и в принципе можно, хотя и с немалым трудом, расшифровать в ней всю

последовательность нуклеотидов. Имея эту информацию, можно синтезировать такую же ДНК, хотя это опять-таки нелегкая задача. Представим теперь (если даже это пока неосуществимо), что нам удалось ввести полученную ДНК в куриное яйцо. Тогда из него мог бы вылупиться гриф. Поскольку ДНК была синтезирована химическим путем, можно утверждать, что в некотором смысле мы произвели синтетического грифа. Нам могут сказать, что вообще-то интереснее было бы вывести из куриного яйца динозавра. Синтезировать ДНК динозавра не труднее (а вернее, не легче), чем ДНК грифа.

Но здесь мы сталкиваемся с главной проблемой. Даже зная, как выглядит динозавр, мы не в состоянии вычислить, какая последовательность нуклеотидов нужна, чтобы появилось такое создание. Мы не умеем "считать назад". Поэтому, даже если мы будем в совершенстве владеть методами, позволяющими синтезировать любую ДНК по нашему желанию и вставлять ее в геном, мы не сможем целенаправленно создавать организмы, которые значительно отличались бы от уже существующих. Мы можем слегка изменять виды, прибавляя или убавляя по ферменту там и здесь, но чем более серьезное изменение мы захотим произвести, тем меньше это будет удаваться, ибо тем меньше мы будем знать (повторяю еще и еще раз), что́ для этого надо делать.

И все-таки мы уже получили какие=то слабые возможности "переконструировать" гаметы. Это породило опасения, что с улучшением технических методов современный человеческий род, пытаясь улучшить себя, может в более дальней перспективе вообще перестать существовать, заменив себя новой и, возможно, нежелательной "конструкцией". Учитывая свойственную нашей природе склонность к дурному, эти страхи нельзя считать совсем беспочвенными.

Глава 19

Пчела

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Чтобы оценить биологическую функцию, надо понять, каково ее значение в жизни организма. В качестве введения к описанию функций нервной системы в этой главе будут рассмотрены некоторые формы поведения медоносной пчелы.

Мы не можем общаться с животными посредством языка. Но если животное способно к научению, то можно определить, на какие раздражители оно может реагировать, какие из них воспринимает одинаково или различно. Пчела хорошо поддается обучению путем выработки условных рефлексов павловского типа. Подобно человеку или крысе, пчелы могут обучаться и без немедленного вознаграждения. Такого рода "латентное научение" происходит в основном при ознакомлении с топографическими особенностями окружающей обстановки или местности.

У пчелы хорошо развиты глаза и части мозга, перерабатывающие зрительные сигналы. Цветовое зрение очень сходно с трихроматическим зрением человека, хотя видимый участок спектра сдвинут в сторону синего цвета. Кроме того, пчелы могут различать направление поляризации света.

Более сложная функция зрения — это распознавание форм. Глаза пчелы плохо приспособлены для восприятия формы предметов. Анализ видимых конфигураций производится при перемещении изображений по элементам сложного глаза. Поэтому многие из фигур, воспринимаемых нами как резные, пчелам кажутся одинаковыми.

Большинство форм поведения у пчел врожденные, однако некоторым из таких форм все же приходится обучаться. Это означает, что существует врожденная способность усваивать некоторые вещи быстро, а другие нет. Яркий пример — ориентирование по солнцу. Для пчел солнце служит главным ориентиром, по нему они определяют географическое направление. Но солнце перемещается, и это необходимо учитывать. Для этого нужно знать скорость движения солнца и время дня. У пчел есть чувство време-

ни, и они усваивают, с какой быстротой движется солнце. Однако чувство времени у них ограничено лишь способностью определять время суток: время как промежуток между двумя произвольными событиями они не воспринимают.

Пчелы удивительны тем, что среди насекомых они одни обладают способом коммуникации, отчасти напоминающим язык. Пчела, нашедшая источник пищи, возвращается в улей и исполняет танец, указывающий другим пчелам, в каком направлении по отношению к солнцу находится пища и какое до нее расстояние. Однако этот “язык” является врожденным, а не передается как “культурный” навык, так что его нельзя сравнить с языком человека.

Если определить “разум” как модель мира, заложенную в нервной системе, то наличие его нужно признать и у пчел. Они способны вычислять кратчайшие расстояния по прямой даже в том случае, когда сами из-за каких-либо препятствий вынуждены были добираться куда-то окольным путем. Во время танца они сообщают о прямом направлении или расстоянии, а не о кружном пути, который только что проделали. У них есть такие способности, которые мы ассоциируем с возможностью давать оценку и делать выбор; например, обследуя дупло, они определяют его пригодность для основания новой колонии.

Центральная нервная система у пчел содержит в 100 тысяч раз меньше нейронов, чем наша, и все же во многом напоминает ее в миниатюре. Основной недостаток пчелиного “ума” состоит в том, что у пчел, как и у других насекомых, слабо развита способность к обобщению.

Химическая и анатомическая упорядоченность превращает массу атомов в живой организм, но с нашей точки зрения эта масса может оставаться еще “машиной”, чем-то “полуживым”. После смерти мозга организм может продолжать жить в смысле поддержания биохимических процессов, но главное качество жизни, ее сущность, то, что делает организм “субъектом”, в нем отсутствует. Эта “сущность” постепенно создавалась в процессе эволюции по мере развития нервной системы.

Прежде чем перейти к деталям строения нервной системы, полезно в общих чертах познакомиться с тем, что может дать организму даже довольно простая ее организация. Проиллюстрируем это на примере поведения медоносной пчелы (*Apis mellifera*), которая, несомненно, представляет собой вершину в эволюции насекомых.

Как задать вопрос пчеле?

Каким представляется окружающий мир тем организмам, у которых органы чувств отличны от наших? Хотя мы и не можем непосредственно общаться с другими животными при помощи языка, можно довольно подробно исследовать их сенсорные способности, если эти животные поддаются обучению.

Допустим, мы хотим выяснить, может ли пчела различать синий и зеленый цвета. Сначала ее нужно обучить прилетать к блюдечку с сахарным сиропом, стоящему на зеленом листке бумаги. После того как навык выработан, блюдца помещают и на зеленые, и на синие листочки. Если пчела подлетает только к блюдцам, стоящим на зеленом фоне, значит, она различает эти два цвета.

Но такие эксперименты с обучением могут сказать нам лишь о том, способны ли животные дифференцировать определенные вкусовые качества, цвета, запахи и т. д.; но мы никогда не узнаем, каково их субъективное восприятие, т. е. представляется ли зеленый цвет пчеле таким же, как и нам, и вообще есть ли у пчелы субъективные ощущения. Конечно, это касается не только животных, но даже и других людей. Мы можем изучать сенсорные способности других существ — будь то люди или животные — лишь в их объективном аспекте.

Зрение

Зрение имеет две стороны. Одна из них — это способность воспринимать разные особенности света, такие как цвет или поляризация; другая — способность строить определенный образ внешнего мира. По обеим меркам чувство зрения у пчелы хорошо развито, хотя в некоторых отношениях отличается от нашего.

Цветовое зрение у пчел в основных чертах сходно с нашим, за исключением того, что видимая область спектра сдвинута у них с сторону более коротких волн (рис. 19-1). Красный свет не воспринимается, поэтому предмет, отражающий только красные лучи, выглядит черным. Пчела не только различает цвета, но в отличие от нас может также определять направление поляризации света.

Угловое разрешение

В отличие от нашего глаз пчелы не похож на фотокамеру. Это сложный глаз, состоящий из 4–5 тысяч *омматидиев*. По существу, каждый омматидий представляет собой маленький глазок со своим собственным хрусталиком, но всего лишь с одним фотоде-

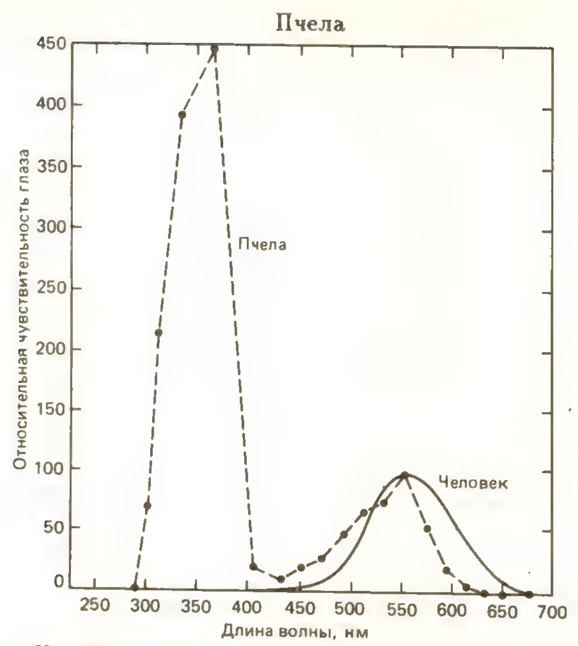


Рис. 19-1. Цветовое зрение пчелы сходно с трихроматическим цветовым зрением человека. Пчела тоже различает три основных цвета, но видимый участок спектра сдвинут в сторону более коротких волн. Глаз пчелы чувствителен к ультрафиолетовым лучам, которых мы не видим, но не воспринимает красный цвет.

тектором, так что угловое разрешение в пределах его поля зрения отсутствует (рис. 19-2, *Б*). Угол между осями соседних омматидиев составляет от 1°20′ до 2°40′, так что угловая разрешающая способность сложного глаза в целом того же порядка. Так как диск луны имеет угловые размеры около 30 минут (30′), два световых пятнышка должны быть разделены расстоянием по меньшей мере в три лунных диаметра, чтобы восприниматься раздельно. Если мы будем оценивать сложные глаза пчелы или других насекомых с точки зрения восприятия образов, то они и в самом деле плохи. И тем не менее пчелам удается по-своему хорошо видеть, хотя они совсем не обязательно видят вещи такими же, как мы.

Восприятие сложных объектов

Анализ зрительных сигналов, позволяющий распознавать различные геометрические формы, производится преимущественно мозгом, поэтому то, какими вы видите вещи, определяется главным образом мозговыми функциями. У пчелы по крайней мере полови-

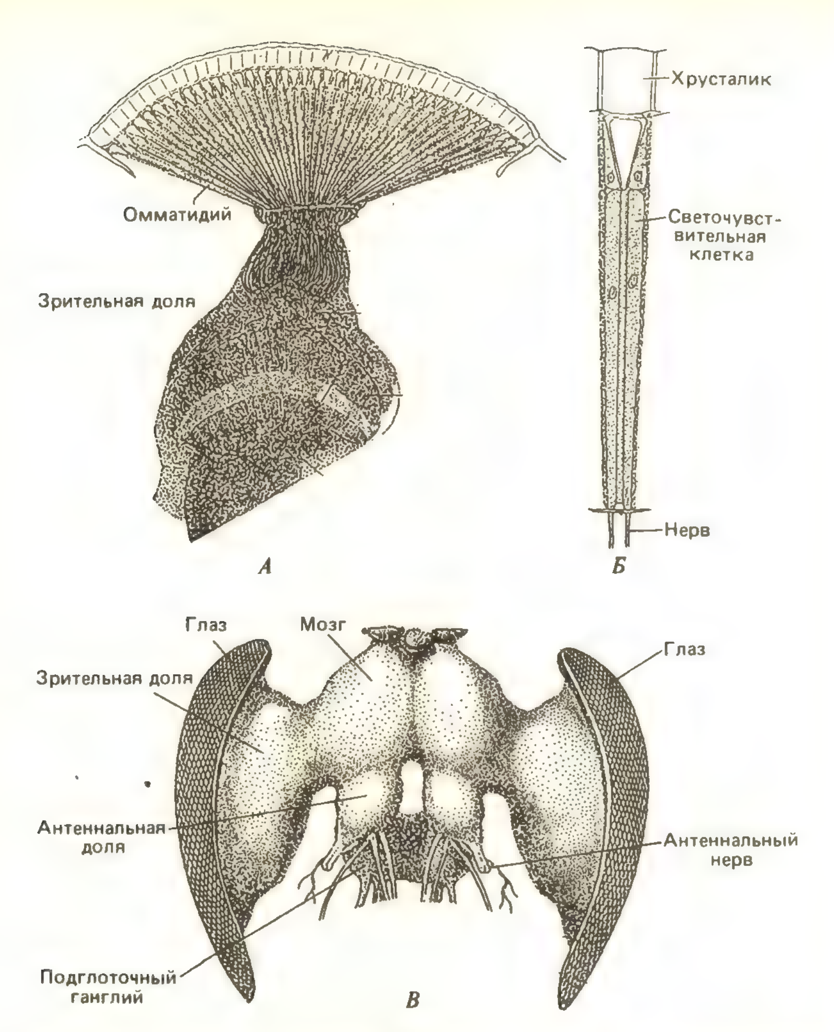


Рис. 19-2. Сложный глаз пчелы (*А*) похож на органы зрения остальных насекомых и многих других членистоногих. Глаза такого типа состоят из множества простых глазков — омматидиев (*Б*). Каждый омматидий имеет хрусталик и две светочувствительные клетки, каждая из которых соединена с нейроном. Отростки этих нейронов направляются в зрительные доли (*В*), где происходит переработка поступающих от глаз сигналов. Поскольку у пчел, как и у нас, зрение играет очень важную роль, зрительные доли составляют весьма значительную часть мозга. Обоняние тоже имеет для пчел большое значение, поэтому довольно велики и антеннальные доли, занятые переработкой обонятельных сигналов.

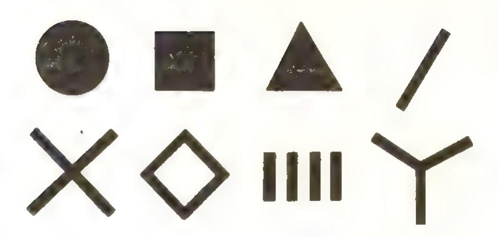


Рис. 19-3. Пчела может отличить любую из верхних фигур от любой нижней, но не различает фигур в пределах каждого из двух рядов.

ну мозга составляют зрительные доли, непосредственно связанные с глазами, так что, исходя из анатомии, можно предположить весьма сложную переработку зрительной информации мозгом. Однако процесс этот происходит у пчелы иначе, чем у человека.

На рис. 19-3 изображены восемь фигур, на наш взгляд весьма отличных друг от друга. Пчеле, однако, четыре фигуры в верхнем ряду кажутся, видимо, очень сходными или идентичными — ее нельзя научить различать их между собой; на том же основании можно заключить, что и четыре нижние фигуры представляются пчеле идентичными. Но любую из верхних фигур пчела легко отличает от любой нижней.

Объяснить это можно тем, что мы воспринимаем форму предметов как целостный образ, в то время как для пчелы важную роль в различении форм играет частота поочередного освещения и затемнения омматидиев деталями фигуры при ее перемещении в зрительном поле. Чем мельче эти детали, тем больше таких мельканий света и темноты. А поскольку фигуры различной формы могут давать одну и ту же частоту мельканий, распознавание их — нелегкая задача для пчелы. Тем не менее она может различать углы наклона линий и определять свое положение по ориентирам. Это, по-видимому, показывает, что пчела учитывает не только частоту мельканий, но и другие признаки.

Длительность "настоящего момента"

Глаз пчелы хорошо приспособлен для восприятия мельканий. В то время как нам свет, меняющийся с частотой 16–18 колебаний в секунду, кажется уже постоянным, для пчелы такое слияние наступит лишь при частоте почти в 10 раз большей. Наши телевизионные изображения покажутся пчеле сильно мерцающими.

Предельная частота еще различимых колебаний (или ее эквивалент для других органов чувств) определяет "продолжительность настоящего момента", т. е. периода времени, в пределах которого события воспринимаются как одновременные. Для человека это величина порядка 1/18 с (секунды), или примерно 55 мс (миллисекунд — тысячных долей секунды). Для улитки, по крайней мере в отношении чувства осязания, она составляет 1/8 с, или 125 мс. Если по раковине улитки легонько постукивать карандашом с частотой 8 раз в секунду, она воспринимает это не как отдельные толчки, а как непрерывное давление — точно так же, как мы воспринимаем цепочку кадров в фильме как непрерывное изображение. Улитка может даже попытаться вскарабкаться на воображаемый твердый предмет. В то же время для некоторых рыб продолжительность "настоящего момента" короче, чем для нас, а для пчел, как уже говорилось, еще намного короче.

То, что "момент" имеет некоторую длительность, позволяет последовательным "мгновенным" ощущениям сливаться и создавать впечатление непрерывности. В результате возникает представление о длительном существовании внешнего мира, хотя для формирования такого представления нужны, конечно, и другие факторы.

"Сознание" пчелы

Поскольку познание субъективного мира возможно только тогда, когда объект и субъект составляют одно целое, субъективная сторона психики насекомых нам недоступна. Мы можем, однако, пользоваться термином "сознание" (mind) как таким понятием, которое вмещает в себя все то, что мы знаем о поведении насекомого. При таком понимании этот термин "работает", избавляя нас от необходимости углубленного разъяснения его смысла.

Память

Можно считать, что у пчел хорошая память, если оценивать ее по времени хранения информации. Однажды выработанная ассоциация между цветом и сахарным сиропом сохраняется по меньшей мере две недели. Пчела помнит местонахождение источников пищи в поле на протяжении 6–8 дней и даже после нескольких месяцев зимнего пребывания в улье.

Научение

С памятью связано научение[1]. Муравьи и в особенности пчелы обладают значительной способностью обучаться при использовании метода "поощрения и наказания", или "павловского обусловливания" — по имени русского физиолога И. П. Павлова (1846–1936), который впервые детально изучил этот феномен. В качестве примера, особенно в популярной литературе, обычно приводится выработка слюнного условного рефлекса у собак.

Если собаке положить в рот пищу, у нее начинается слюноотделение. Вкус пищи служит в этом случае *безусловным* раздражителем, поскольку собаке не нужно обучаться этой реакции. Если начало кормления сопровождать звонком, то вскоре слюна станет выделяться уже при одном только звуке звонка: очевидно, собака ассоциирует звонок с пищей. Звуковой сигнал выполняет здесь роль *условного* раздражителя. Точно так же легкий электрический удар может вызывать сгибание ноги, и у животного (или человека) можно выработать сгибательный рефлекс в ответ только на условный раздражитель, например на звонок или вспышку света.

Когда пчел обучают ассоциировать цвет с пищей — это еще один пример павловского обусловливания. Сладкий вкус — безусловный раздражитель, цвет — условный, который после обучения становится "заменителем" или "символом" сахарного сиропа. Пчелы способны также и к выработке условного рефлекса "второго порядка": они могут усвоить, что если запах A_1 означает пищу, а запах A_2 предвещает появление запаха A_1, то и запах A_2 сам по себе тоже означает пищу.

Врожденные и приобретенные формы поведения

Большая часть форм поведения у насекомых врожденна. У пчел поведение не только видоспецифично, но и зависит от касты: для маток, рабочих пчел и трутней характерны свои собственные реакции. Еще один пример: некоторые виды муравьев совершают набеги на муравейники других видов и уносят оттуда личинок, которые затем становятся рабочими муравьями, или "рабами"; во

---

[1] Под "научением" в психологии понимают преимущественно сам факт усвоения чего-то нового, а под "обучением" — процедуру, приводящую к такому усвоению. Однако эти вещи тесно связаны между собой, поэтому проводить такое разграничение понятий не всегда возможно (по-английски им часто соответствует одно и то же слово — learning). — *Прим. ред.*

всех существенных деталях, однако, поведение "рабов" остается характерным для их вида, а не для вида "хозяев".

Но врожденность поведения вовсе не обязательно исключает обучение — даже врожденной форме поведения иногда приходится еще обучаться. В этом можно усмотреть некоторое противоречие, но, строго говоря, врожденным в таких случаях является не само поведение, а способность легко и быстро его осваивать. Таким образом, пчелы могут многому научиться, если это входит в их врожденную "программу"; например, они приобретают знание ориентиров, топографии местности, времени раскрытия цветков. И в этом пчелы преуспевают, тогда как обучение другим вещам для них трудно или вообще невозможно.

Солнечный компас

Одна форма поведения — так называемая "реакция солнечного компаса" — носит частично врожденный, частично приобретенный характер и представляет особый интерес.

Во время своих путешествий муравьи и в особенности пчелы, чтобы не заблудиться, пользуются земными ориентирами, так же как и мы. Бывает, однако, что муравей придерживается постоянного направления даже тогда, когда пересекает относительно пустое пространство, например полосу песка. Конечно, он все равно использует ориентир, но теперь им служит солнце. Если сделать так, чтобы муравей оказался в тени и при этом видел отражение солнца в зеркале, то он изменит направление своего движения, сохранив, однако, прежний угол по отношению к видимому им солнцу (рис. 19-4).

Благодаря своей хорошей видимости и большой удаленности солнце служит превосходным ориентиром, но имеет один существенный недостаток: оно движется с угловой скоростью 15° в час. Если ориентир нужен лишь на короткое время, этим движением можно пренебречь; однако, путешествуя в течение нескольких часов, вы полностью собьетесь с пути, если будете считать солнце неподвижным.

Тем не менее многие животные способны учитывать перемещение солнца (а нередко и луны), чтобы придерживаться заданного направления. Для этого они должны "знать" две вещи: во-первых, скорость движения солнца и, во-вторых, сколько времени прошло с начала путешествия. С учетом этих двух параметров вычисляется угол между солнцем и направлением, которого нужно держаться. О животном, способном к таким действиям, говорят, что у него

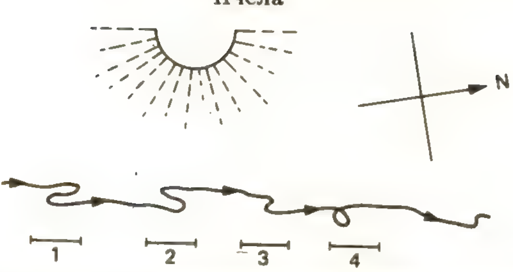


Рис. 19-4. Использование солнца в качестве ориентира муравьями. Муравей здесь движется к северу, солнце остается слева. В положениях 1, 2, 3 и 4 солнце с помощью зеркала "переносили" на правую сторону, и муравей тотчас менял направление, но он возвращался к прежнему курсу, когда зеркало убирали.

имеется солнечный компас. И это весьма обычное явление для членистоногих и позвоночных.

Чтобы узнать, с какой скоростью движется солнце, за ним нужно понаблюдать. Пчеле для этого требуются три дня. Отсюда следует также, что у пчел есть чувство времени.

Чувство времени

Пчелы могут довольно точно определять время в смысле "времени суток". Например, они узнаю́т, что какой-то цветок раскрывается в 6 часов утра, и начинают прилетать именно в это время с 24-часовой периодичностью. Это играет большую роль в хозяйственной жизни улья: пчелы вырабатывают четкий распорядок посещения цветков определенных видов в определенное время суток, когда те наиболее доступны и продуктивны.

Но, хотя пчела и знает, "который час", т. е. умеет определять время суток, ее чувство времени несколько одностороннее. Пчела легко усваивает, что определенные цветки раскрываются в определенное время суток, но она не способна усвоить то, что если один цветок раскрылся в какой-то момент времени t_1, то другой цветок раскроется через пять часов после него в момент t_1+5. Иными словами, пчелы могут запомнить время дня, но не длину временно́го интервала.

Чувство времени хорошо развито у многих представителей нашего собственного вида. Мы можем, например, засыпая, приказать себе проснуться в определенное время. Иногда нам случается и проспать, но в общем человек пробуждается поразительно близко к заданному сроку, так что всем нам хорошо знакома ситуация,

когда мы, проснувшись, выключаем будильник за несколько минут до того, как он должен зазвенеть. Таким образом, очевидно, что мы можем вести учет времени даже в бессознательном состоянии. Это осуществляется с помощью так называемых внутренних часов. Когда лимит времени истекает, человек чувствует не просто ход времени, а наступление момента, когда нужно что-то делать, и обычно он наверняка знает, что именно.

Однако способность оценивать прошедший интервал свойственна людям далеко не в одинаковой степени. Как показало одно исследование, проведенное в Германии, у 20% людей она была хорошо развита, у 20% практически отсутствовала, а остальные занимали какое-то промежуточное положение. При хорошем развитии эта способность может приводить к поразительным результатам. В 6 из 14 экспериментов один человек пробуждался в пределах одной минуты от заданного срока, проспав перед этим несколько часов, а в остальных случаях разница не превышала 8 минут. Однако, несмотря на распространенность этого явления, биохимические и физиологические механизмы внутренних часов остаются неизвестными.

Такие "часы" были, конечно, очень полезны древним охотникам, рыболовам и скотоводам до того, как настоящие часы вошли в употребление. В европейском фольклоре можно найти интересные реминисценции различных верований и предрассудков, связанных с этой способностью. Различные духи, в особенности души мертвых, призывались на помощь, чтобы разбудить человека в нужный момент. Это, несомненно, был весьма эффективный способ, основанный на самовнушении. В средние века подобные верования сконцентрировались вокруг св. Вита, день которого приходится на 15 июня. К св. Виту обращались за помощью для своевременного пробуждения. Он считался также покровителем тех, кто страдал ночным недержанием мочи, и жертвы этого недуга молились ему, чтобы он помог им вовремя проснуться. В действительности св. Вит был христианским мучеником, жившим во время правления Диоклетиана (284–305). Как полагают, он приобрел свою любопытную репутацию благодаря сходству своего имени с именем Свантевита — славянского бога света и утренней зари, а значит, и пробуждения.

Солнце ночью

Теперь позволительно спросить: если животное обладает солнечным компасом, то куда же, по его "мнению", девается солнце ночью?

Рыбу можно обучить плыть в южном направлении, так что в полдень она будет двигаться прямо в сторону солнца, а к вечеру — отклоняться влево от него. Попробуем теперь предъявить ей в полночь искусственное солнце (рис. 19-5). Хотя рыба никогда раньше не сталкивалась с подобной ситуацией, она правильно решает, что "солнце" находится на севере, и плывет прямо от него. Таким образом, действия рыбы согласуются с астрономическим представлением о том, что ночью солнце, хотя и невидимое, движется с нормальной скоростью либо над обратной стороной Земли, либо в северной части неба, перемещаясь с запада на восток и появляясь утром в восточной части горизонта.

Но некоторые насекомые, например многие жуки, ведут себя в соответствии с совершенно иным представлением о движении солнца. Если показать насекомым, обученным ранее двигаться на юг, искусственное солнце ночью,то они тотчас начинают ползти по направлению к нему — так, как будто солнце, исчезая вечером на западе, совершает затем обратный путь по небу на восток в виде темного тела и, дойдя до восточного горизонта, загорается вновь. Астрономические "представления" у рыбы, таким образом, более верны, чем у жука.

Следует подчеркнуть, однако, что все эти представления сформулированы нами для описания поведенческих реакций животного: само животное, конечно, не делает никаких обобщений, точно так же как человек, играя в мяч, не задумывается над законами движения Ньютона. Объективно можно сказать лишь то, что в первом случае животное продолжает делать поправку на суточное перемещение солнца по полному кругу (360°), а во втором — на перемещение его на 180° туда и на столько же обратно.

Солнечная ладья

Мысль о том, что даже низкоорганизованные на наш взгляд животные могут иметь "астрономические представления", в значительной степени совпадающие с ранней космографией человека, наводит на некоторые размышления. Мимнерм из Колофона около 600 г. до н. э. так описывает Гелиоса, возвращающегося в золотой раковине оттуда, где садится солнце, туда, где оно восходит:

С лучом зари от океана ввысь
Стремит коней бог солнца в горний путь:
Весь день в трудах — возница, не ленись —
Ни задержаться, ни передохнуть.
А ночью вспять на золотом челне,

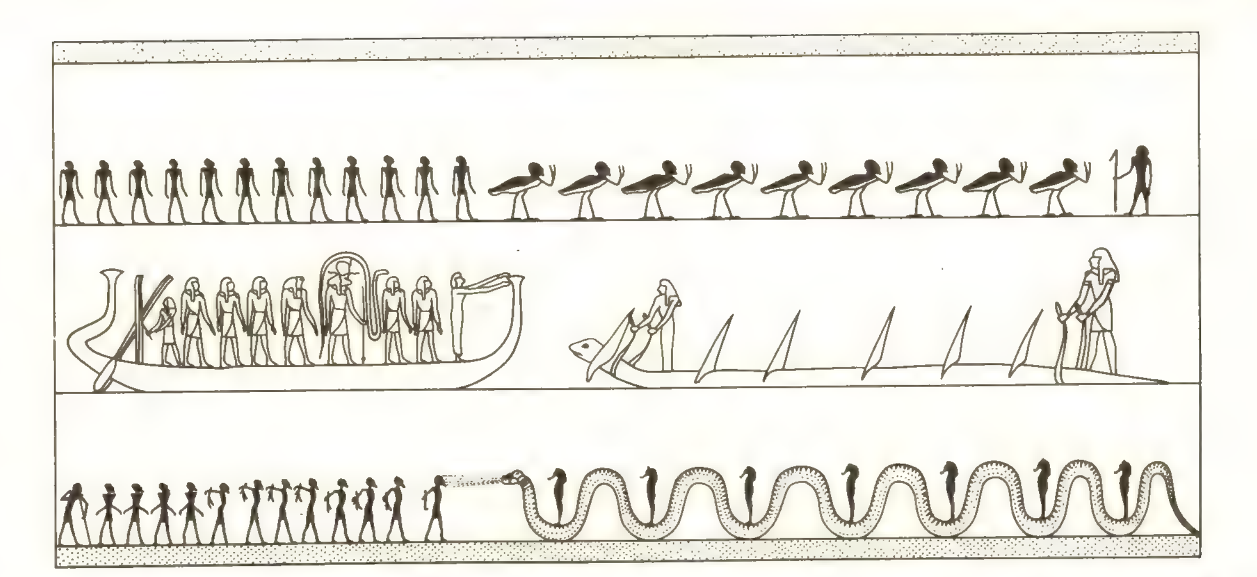


Рис. 19-5. Происхождение рая и ада. Ра, бог солнца, ночью проплывает на своей ладье через подземный мир с запада на восток, где появляется каждый раз на рассвете. Путь ему преграждает множество чудовищ, но их связывают веревками и режут ножами. На левом берегу (*вверху*) стоят добродетельные покойники и некие крылатые души, удостоившиеся чести видеть бога и петь ему хвалу. На противоположном берегу стоят грешники со связанными за спиной руками. Изрыгающий пламя дракон вскоре кладет конец их существованию. Эта композиция взята из “Книги того, что есть в нижнем мире” — довольно позднего источника. Из этой исходной композиции развиваются христианские представления о небесах и аде. Первоначально, однако, мертвых в подземном мире не было. Бог солнца умирал каждый вечер на западе и переправлялся ночью в ладье на восток, где каждое утро вновь восставал из мертвых. Чудовища олицетворяли облака и тучи, закрывающие солнце.

Что выкован Гефестовой рукой,
От стран закатных, правя в полусне,
В постели волн находит он покой.
А в Эфиопии, квадригой впряжены,
Уж заждались рассвета скакуны[1].

Это поэтическое описание, по существу, не так уж отличается от тех представлений о движении солнца, которым соответствует поведение рыбы.

Идею о том, что солнце возвращается на восток в ладье, можно встретить у разных народов; египтяне полагали, что солнце проплывает назад каждую ночь через нижний мир (рис. 19-6). Может быть, мы имеем здесь дело с вербализацией древнего "архетипа", как называл его Юнг, гораздо более древнего, чем само человечество[2].

Коммуникация и "язык" пчел

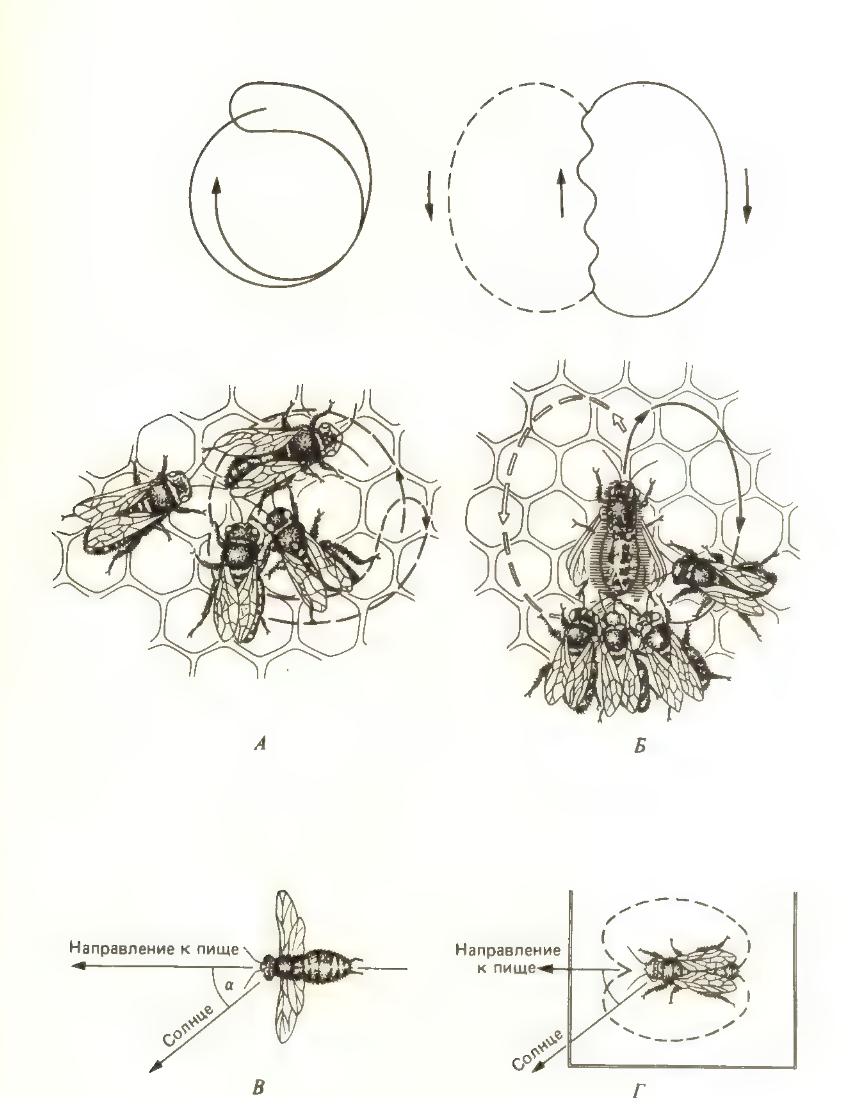
Информация у пчел передается в основном с помощью запахов. Если пчелиная матка умирает или ее забирают из улья, рабочие пчелы узнают об этом в течение получаса благодаря отсутствию особого "маточного вещества", выделяемого в нормальных услови-

[1] Перевод Ю. Л. Амченкова.

[2] Этот архетип никак нельзя считать исчезнувшим. Согласно древнеегипетским представлениям, каждую ночь ладья солнца, или умершего бога Ра, входит в Царство тьмы на западе и плывет к востоку через весьма приблизительно локализованную Землю Аманти. Здесь каждую ночь верные моряки сражаются с полчищами демонов, предводительствуемых князем тьмы Апопи; их олицетворяют тучи, грозы и другие воплощения сил тьмы. Исход битвы неизбежен: демонов разрезают на куски, после чего их тела, души и тени сгорают в огне, когда бог Ра оживает и вновь появляется на Востоке.

Так было вначале, но с течением времени Земля Аманти заселяется душами мертвых. Добрые духи помогают Ра, злые — уничтожаются или "умирают вторично", но не подвергаются при этом продолжительным мучениям.

Позднеиудейская и в особенности христианская традиции заимствовали представления о Земле Аманти, чтобы создать чистилище и ад, где орудуют черти, мучая и поджаривая на огне грешников, обреченных на вечные страдания. Тем не менее некоторые древние знатоки, хорошо осведомленные об Аманти (в частности, один египетский епископ, который якобы почерпнул свои сведения от мумии), сообщает нам, что жертвам был положен отдых по субботам и праздникам новолуния. Принимая во внимание разноречивый характер информации, нужно признать, что убедиться в правоте тех или других описаний ада можно будет лишь после того, как мы окажемся там сами. Но, как бы то ни было, не позже следующего понедельника пытки наверняка возобновятся с новой силой. Таким образом, мы должны быть признательны рыбе за более развитую систему этических представлений!


А
Б
Направление к пище
α
Солнце
В
Направление
к пище
Солнце
Г

ях маткой. Это пахучее вещество не только сигнализирует о присутствии матки, то также тормозит развитие яичников у рабочих пчел и служит приманкой для спаривания. В первые часы после исчезновения матки в улье начинается паника, а пчелы издают непривычно резкие звуки. Потом они расширяют некоторые ячейки для расплода, предварительно убив находившихся рядом личинок, и начинают кормить молодь в этих расширенных ячейках "маточным молочком". Первая вылупившаяся матка убивает соперниц, все еще находящихся в ячейках. Если одновременно появляются две матки, они сражаются до тех пор, пока одна из них не гибнет, так что во всех случаях в улье остается только одна матка.

Еще один обонятельный сигнал, издаваемый пчелой, означает опасность; существует и немало других сигналов.

Пчелы обладают также своеобразным "языком" — весьма специфическим методом передачи сообщений о местонахождении пищи или о подходящем месте для устройства нового гнезда. Отчасти именно благодаря этой уникальной особенности пчел не без основания считают вершиной эволюции насекомых.

Открытие языка пчел — главным образом заслуга немецкого зоолога Карла фон Фриша и его коллег, потративших долгие годы на изучение пчел и разгадавших тайны их коммуникации в годы

Рис. 19-6. Пчелиный язык танцев. *А.* Круговой танец означает, что пчела нашла пищу вблизи улья. Она движется по небольшому кругу, обычно вокруг одной ячейки сотов, то в одну, в то в другую сторону. Танец не указывает, в каком направлении следует искать пищу, но исходящий от танцовщицы запах говорит другим пчелам, что́ именно они могут найти. *Б.* Виляющий танец исполняется в тех случаях, когда пища обнаружена далеко от улья, и указывает как направление, так и расстояние. Пчела делает короткую пробежку по прямой, виляя при этом брюшком, затем поворачивает направо, возвращается в исходную точку, делает еще одну прямую пробежку, поворачивает налево, опять повторяет пробежку и т. д. *В.* Танцующая пчела запоминает, под каким углом относительно солнца она летела к источнику пищи. *Г.* Если танец исполняется на горизонтальной поверхности, направление прямого пробега непосредственно указывает, в какую сторону нужно лететь к пище, ориентируясь по солнцу. Если же танец исполняется на вертикальной поверхности (как это обычно бывает), тогда направление к источнику пищи относительно солнца соответствует направлению прямого пробега относительно вертикали. Расстояние до источника пищи можно определить по частоте поворотов (скажем, по числу кругов, сделанных за 15 секунд). За пчелой-танцовщицей наблюдают и следуют по пятам другие пчелы (*А*, *Б*), которые понимают смысл передаваемой информации.

второй мировой войны и сразу после нее. Полученные результаты были столь необычны, что долгое время вызывали недоверие, хотя теперь, конечно, они полностью подтвердились. В 1973 г. Карл фон Фриш получил за эти исследования Нобелевскую премию.

Пчелы могут сообщать другим пчелам о местонахождении пищи с помощью своеобразного поведения — так называемых танцев. Если пчела-разведчица находит обильный источник корма, расположенный не далее 80 метров от улья, она забирает нектар и возвращается в улей. Отдав взяток одной из пчел, занятых "домашними" обязанностями, она исполняет "круговой" танец, двигаясь по кругу то в одном, то в другом направлении (рис. 19-6,*А*). Ее движения повторяют другие пчелы-сборщицы. Круговой танец показывает им, что пища близко, а исходящий от танцовщицы запах говорит о том, на каких цветках ее следует искать. Затем сборщицы покидают улей и отправляются на розыск этих цветков поблизости. По возвращении они в свою очередь тоже исполняют круговой танец, так что пчелы из одного улья часто концентрируют все внимание в тот или иной момент на цветках одного-двух видов. Круговой танец — простая форма коммуникации, не указывающая ни направления, ни расстояния, но и этого достаточно, чтобы пчелы начали поиск в непосредственной близости от улья.

Если источник корма находится дальше, пчела-сборщица по возвращении в улей исполняет так называемый виляющий танец, который позволяет определить, в каком направлении и на каком расстоянии следует искать пищу. Элементы этого танца изображены на рис. 19-6,*Б*: это пробежка по прямой, полукруг налево, опять пробежка по прямой, полукруг направо и т. д. Прямые пробежки сопровождаются виляющими движениями брюшка и характерным шуршащим звуком.

Этот танец обычно исполняется в глубине улья на вертикальной стенке, но иногда и на открытой горизонтальной поверхности. Его легче понять, если рассмотреть сначала второй, более редкий случай.

На горизонтальной поверхности направление прямого пробега указывает направление к источнику пищи по отношению к солнцу. Если, например солнце находится на юге, а источник пищи на юго-западе, то линия пробежки будет отклоняться на 45° вправо от линии, направленной прямо на солнце (см. рис. 19-6,*Г*). Расстояние до пищи закодировано в быстроте танца, которую удобно оценивать по числу пробежек, совершаемых за 15 секунд. Чем ближе пища, тем быстрее танец, но, как видно из рис. 19-7, эта зависимость нелинейна и для больших расстояний весьма приблизительна. Как и в случае кругового танца, другие пчелы следуют

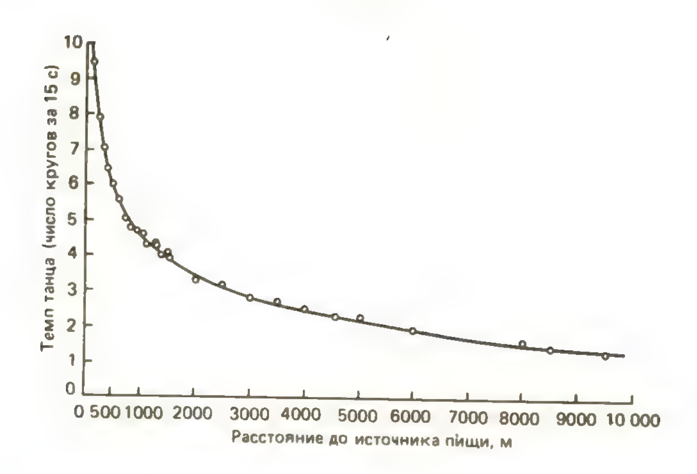


Рис. 19-7. Соотношение между темпом танца (числом кругов за 15 секунд) и расстоянием до источника пищи. График отражает усредненные результаты; в каждом отдельном случае совпадение может быть менее точным, чем на этой кривой.

за движениями танцовщицы, а затем улетают в том направлении и на то расстояние, которые им были указаны. Если источник пищи оказывается хорошим, то после возвращения они тоже повторяют танец.

В глубине улья и на вертикальной поверхности пчела трансформирует горизонтальную карту в вертикальную. Направление "вверх" теперь означает направление к солнцу, а угол между прямым пробегом и вертикалью соответствует углу между направлениями к пище и к солнцу. Пчелы, следующие за танцовщицей, понимают это и улетают затем в нужную сторону. Если танцует несколько пчел, следующие за ними "зрители" усредняют угол, тем самым уменьшая ошибку, вносимую индивидуальными вариациями танца.

Этот же танец используется для указания пути к воде и к местам, подходящим для устройства нового гнезда. Такой способ передачи информации хотя и несовершенен, но весьма эффективен. Стоит одной пчеле найти хороший источник пищи, как число пчел, летящих туда, может вскоре увеличиться десятикратно. Поразительно не столько то, что пчелы "танцуют", сколько то, что другие особи способны понимать смысл танца и руководствоваться им в своем собственном поведении.

Можно ли назвать пчелиные танцы языком?

Можно ли считать такой способ коммуникации настоящим языком, — это, очевидно, зависит от того, как мы определим "настоящий" язык. Но прежде чем пытаться дать здесь формальное определение, давайте разберемся, чем отличается язык пчел от нашего и в чем он сходен с ним.

Для человеческой речи характерна "полная обратная связь". Говорящий слышит и понимает все, что говорит он сам; слушатель может повторить другим полученную от собеседника информацию. Маловероятно, однако, чтобы танцующая пчела понимала смысл передаваемой ею информации или вообще осознавала, что участвует в этой передаче. Кроме того, зрители, узнавшие об источнике пищи от танцующей пчелы, не могут "рассказать" об этом окружающим, просто повторив танец: для этого они должны прежде слетать туда сами.

Наша речь позволяет сообщать не только о том, что происходит здесь и сейчас. Человек может, например, сказать, что в полдень он будет на другом конце города. Это свойство называется "перемещением". Другое свойство речи — продуктивность, т. е. возможность создавать новые сочетания символов для передачи мыслей, которые никогда прежде не высказывались и все же будут теперь поняты. Можно, скажем, составить фразу "Пьесы Шекспира были написаны единорогом", и ее поймут. Язык пчел, хотя и в примитивной форме, тоже обладает этими особенностями. Действительно, передаваемые сигналы тоже относятся не к положению дел "здесь и теперь", а к достаточно отдаленной ситуации. Кроме того, эти сигналы несут информацию о конкретном месте (расстоянии и направлении), о котором прежде, быть может, никогда не сообщалось.

Хотя способность говорить и является врожденной, любой из человеческих языков нуждается в освоении, а не передается в биологическом смысле по наследству; об этом свидетельствует сам факт существования множества языков. Между тем у пчел вся система коммуникации генетически детерминирована.

Нужно добавить также, что "язык" пчел — это мини-язык, состоящий всего из двух "слов" с непрерывной градацией значений — слов "направление" и "расстояние". Хорошо приспособленный для передачи подобных сведений, этот язык не предусматривает иных "тем для разговора". Им, однако, не исчерпываются все способы коммуникации пчел друг с другом. По запаху они узнают о состоянии матки, а также о многих других аспектах жизни пчелиной семьи, важных для функционирования ее как единого целого.

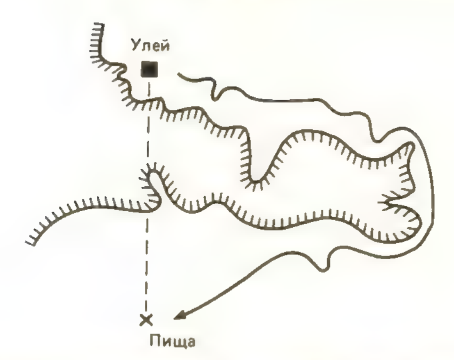


Рис. 19-8. Влияние препятствий. Из-за них пчела добирается до пищи кружным путем. Однако она "вычисляет", каким должен быть прямой курс, и сообщает о нем другим пчелам в улье с помощью танца. Эта способность определять прямой путь очень важна при передаче информации, так как даже и в отсутствие серьезных препятствий пчела в поисках пищи редко летит по прямой линии.

Если считать "языком пчел" всю их сигнальную систему, то число предметов, о которых пчелы могут "поболтать" друг с другом, значительно увеличится.

Сознание пчел

Есть ли у пчел сознание? Хотя субъективные аспекты психики других существ не могут быть познаны нами, в настоящее время принято считать, что в объективном смысле "сознание" означает такой уровень развития нервной системы, когда в ней имеется символическая карта или модель внешнего мира, которой можно с успехом пользоваться как отображением реальности. Таким образом, выявив существование подобных карт или моделей, можно экспериментально подтвердить наличие сознания.

Иногда, например, пчела встречает препятствие — скажем, высокую постройку или скалу, не позволяющую лететь из улья к источнику пищи по прямой (см. рис. 19-8). И здесь вступает в действие одно из самых удивительных свойств центральной нервной системы пчелы. Хотя пчела и не пользовалась прямым путем, она тем не менее правильно вычисляет его длину и направление, исходя из длин и направлений отдельных участков того непрямого пути, который она проделала. Во время танца она сообщает необходимую информацию о прямом курсе, и пчелы, вылетающие по ее указаниям, находят пищу, производя при облете препятствий

те же вычисления, но в обратном порядке. В формальном смысле пчелам нужно проделать нечто эквивалентное тригонометрическим расчетам, но в действительности это может быть больше похоже на графическое решение задачи по "внутренней карте".

Таким образом, если принять за критерий сознания наличие такой "карты", то следует признать, что у пчел есть сознание. Несомненно, возможности его ограниченны, но в одном оно качественно сходно с нашим — в нем тоже используется внутренняя мысленная карта.

Оценка и суждение

Пчелы обладают и другими способностями, которые у самих себя мы без колебания сочли бы проявлением сознания. Одна из них — способность оценивать ситуацию. Она используется, когда нужно найти подходящее место для устройства нового гнезда. За несколько дней до отделения роя сотни старейших и опытнейших пчел-сборщиц начинают обследовать окрестности, чтобы подыскать удобное место для нового жилья. Каждое из найденных мест детальнейшим образом изучается в течение примерно часа и внутри и снаружи. Некоторые, хотя, конечно, далеко не все из тех факторов, которые при этом учитывают пчелы, известны. Предпочтение отдается местам, не слишком близким к родительскому улью. Жилище должно быть достаточно просторным и без нежелательных запахов, входное отверстие — маленьким, расположенным высоко над землей и ориентированным на юг. Температура внутри не должна подниматься слишком высоко, и жилище должно быть укрыто от ветра. Все эти факторы учитываются пчелами и сохраняются в памяти.

Разведчицы, нашедшие подходящее место, по возвращении танцем информируют других пчел о направлении и расстоянии до него, так же как они делают это в отношении источника пищи. Чем лучше найденное место, тем живее танец. Пчела, танцующая особенно энергично, побуждает остальных разведчиц прекратить свои танцы и отправиться посмотреть на рекламируемое место. Постепенно все приходят к согласию. Разведчицы сопровождают отделяющийся рой и продолжают вести разведку и танцевать на поверхности остающегося роя. Последний остается на месте до принятия окончательного решения. Как только оно будет достигнуто, разведчицы делают "пробежку с жужжанием" и вылетают к месту будущего гнезда в сопровождении остальной части роя.

Ограниченность пчелиных способностей

Наиболее серьезные ограничения связаны с тем, что пчелы, как и другие насекомые, мало способны к обобщению, а потому и к переносу усвоенных навыков на сходную ситуацию.

Если крыса научилась преодолевать лабиринт в одном направлении, приобретенный опыт сильно облегчает ей и нахождение обратного пути. Она может применить что-то из усвоенного раньше и в новой ситуации. Для муравья или пчелы преодолеть лабиринт в противоположном направлении — совершенно новая задача, решение которой нужно начинать "с нуля".

Пчелы до некоторой степени все же способны к обобщению; они могут, например, узнавать фигуру сходной формы и после изменения ее цвета, т. е. абстрагировать форму от цвета. Таким образом, некоторая способность к обобщению есть, но весьма ограниченная.

Хотя пчела, разумеется, очень далека от человека, очевидно, что кое в чем она не совсем чужда нам. Конечно, ее мозг содержит всего около 850 тысяч нервных клеток, тогда как у нас их 10^{11}, т. е. в 100 тысяч раз больше. И все же она сконструирована по тем же принципам, что и мы, но как бы в миниатюрном и упрощенном исполнении.

Литература

Barth F. G. Insects and Flowers, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1985.

Oster G. F., Wilson E. O. Caste and Ecology in the Social Insects, Princeton University Press, 1978.

Seeley T. D. Honey-bee Ecology, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1985.

Snodgrass R. E. The Anatomy of the Honey Bee; Comstock Publishing Assoc. (a Division of Cornell University Press), Ithaca and London, 1956.

Wilson E. O. The Insect Societies, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge MA, 1971.

Winston M. The Biology of Honey Bee, Harvard University Press, Cambridge MA, 1987.

Глава 20

Нейроны и нервные сети

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Главная функция нервной системы — переработка и быстрая передача сигналов от органов чувств к эффекторам, в основном мышцам. Нервная система состоит из клеток с длинными отростками — *нейронов*. Нейроны проводят электрические импульсы, но от нейрона к нейрону сигналы передаются через особое соединение (*синапс*) с помощью химических посредников. Одни сигналы могут тормозить передачу других через синапс, поэтому нейроны способны осуществлять логические функции ("и", "или"). Именно это делает возможным выполнение мозгом вычислительных операций.

Функциональной единицей нервной системы является *рефлекторная дуга*. Стимул вызывает с помощью такой дуги однозначный, "автоматический" ответ. Но одна рефлекторная дуга может взаимодействовать с другой, что приводит к большему разнообразию ответов.

Простейший тип нервной системы — это диффузная нервная сеть, свойственная кишечнополостным и плоским червям. Она состоит из нейронов, расположенных непосредственно под покровами тела. Простая на первый взгляд, она может служить основой для многих форм вполне целесообразного поведения. Тем не менее животные с диффузной нервной сетью почти не способны обучаться и что-либо запоминать.

Функция, или "назначение", нервной системы состоит в том, чтобы координировать активность организма, и делать это быстро. Например, многие кольчатые черви живут в трубках и выставляют свои перистые щупальца в морскую воду для отлавливания добычи (рис. 20-1). Конечно, и сами щупальца — желанная пища для таких хищников, как рыбы. Поэтому, когда тень от рыбы падает на световые рецепторы, сигнал передается по нервам к соответствующим мышцам, и щупальца втягиваются в трубку с такой быстротой, что наш глаз не успевает это уловить.



Рис. 20-1. Живущие в трубках черви выпускают свои щупальца наружу, чтобы захватывать мелкие организмы, которыми они питаются. Если на щупальца падает тень, они немедленно втягиваются обратно. Это происходит очень быстро, так как имеется прямой и короткий нервный путь между фоторецепторами и соответствующими мышцами. Сигналы не подвергаются дальнейшему анализу, и реакция совершается автоматически. Такого рода ответ называют рефлексом.

У кольчатых червей сигнал передается от сенсорного органа к мышце довольно-таки прямым путем; природа стимула в цепи не анализируется с целью распознать, опасен ли его источник. Любая неожиданная тень вызывает ответную реакцию, что делает ее быстрой, но "машинальной". Мы называем такую реакцию простым рефлексом.

Однако не каждая реакция представляет собой простой рефлекс. Например, мозг лягушки получает от глаз информацию, что поблизости что-то движется. Тогда мозг, производя сложные выкладки на основе доступных данных, решает, что́ это: насекомое, которое следует атаковать, или опасный хищник, от которого нужно поспешно прыгнуть в пруд.

Структура нервной системы

Нервная система состоит из двух частей — центральной и периферической. Центральная нервная система (ЦНС) в основном занята переработкой сигналов. У позвоночных это головной и спин-

ной мозг. Те части, которые проводят сигналы от органов чувств к центральной нервной системе и от нее к органам-эффекторам (т. е. исполнителям определенных действий — мышцам, железам), образуют периферическую нервную систему. Часто удобно бывает рассматривать органы чувств, откуда берут свое начало многие сигналы, как часть периферической нервной системы.

Нервная система состоит из соединенных между собой нервных клеток, или нейронов. "Нервы" — это пучки отростков многих нейронов, своего рода многожильные кабели. Типичный нейрон представляет собой клетку с длинными отростками, способную передавать сигналы (рис. 20-2). Утолщенная центральная часть клетки, где находится клеточное ядро, называется *телом нейрона*. В принципе сигналы могли бы передаваться в пределах одной клетки в любом направлении, но, как правило, этого не происходит, так как импульс возникает только в одном конце нейрона. Отросток, который обычно проводит сигналы по направлению к телу нервной клетки, называется *дендритом*, а от тела — *аксоном*.

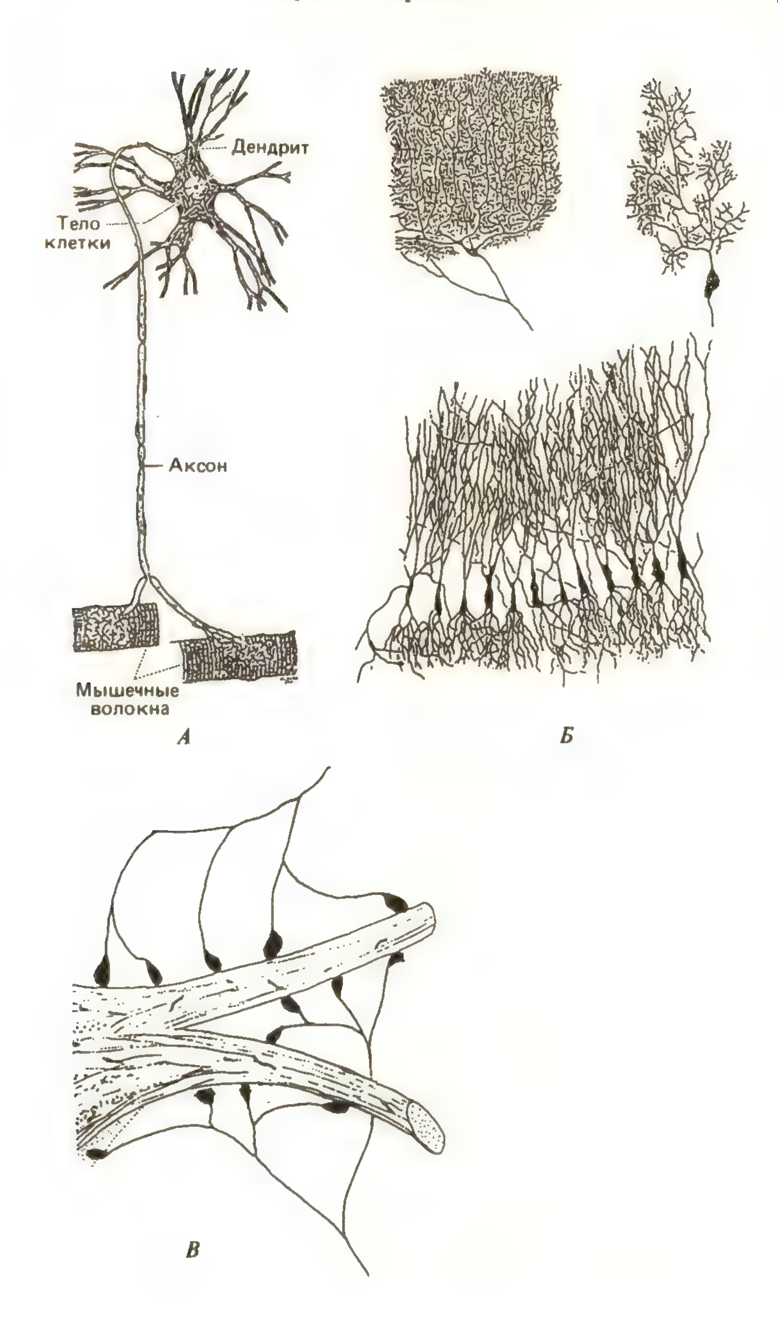
Функционирование нервной системы

В изучении работы нервной системы можно выделить два аспекта.

А. Первый аспект касается передачи сигналов в нервной системе. Это вопрос о том, как сигналы проходят по отдельным нейронам и как они передаются с одного нейрона на другой.

Б. Второй аспект касается схем соединения нейронов в целостные функциональные механизмы. Как, например, обеспечивается то, что мы, увидев красный свет, нажимаем на тормоз?

Рис. 20-2. Нейрон — клетка с длинными отростками, специально приспособленная для передачи сигналов. Он состоит из *тела* клетки и отходящих от него отростков двух типов: *дендриты* передают входные сигналы телу нейрона, а *аксон* — выходные сигналы от тела. *А*. Типичная нервная клетка — двигательный нейрон, который проводит импульсы к мышечным волокнам, заставляя их сокращаться. У очень крупных животных двигательные нейроны могут достигать нескольких метров в длину. *Б*. В центральной нервной системе нейроны часто бывают небольшими, но сильно разветвленными; они образуют множество соединений с другими нейронами. *В*. Синапсы — соединения между нервными клетками. Очень тонкие отростки одного (*пресинаптического*) нейрона образуют концевые расширения с мельчайшими пузырьками внутри. Когда сюда приходят нервные импульсы, здесь выделяется нейромедиатор — вещество, которое воздействует на другой (*постсинаптический*) нейрон, стимулируя или же подавляя его активность.


Дендрит
Тело клетки
Аксон
Мышечные волокна
А
Б
В

Оба аспекта важны, но акцент здесь будет сделан на втором. Однако для понимания функционирования системы в целом необходимо сначала дать ряд элементарных сведений о механизмах передачи сигналов на уровне отдельных нейронов.

Проведение сигналов в нервной системе. Электрические сигналы

В нервной системе используются сигналы двух типов — электрические и химические. Мы начнем с рассмотрения первых.

Если на нейрон в одном его конце воздействует подходящий раздражитель, то возникает электрический сигнал, проходящий через клетку. Хотя сигнал и электрический, он не слишком похож на тот, что проходит по медному проводу. В последнем сигнал представляет собой поток электронов, тогда как в нейроне это *деполяризация* клеточной мембраны. Мембрана имеет высокое электрическое сопротивление, и обычно между двумя ее сторонами поддерживается разность потенциалов около 0,01 В (вольт), причем наружная сторона заряжена положительно. Стимул, которым может быть слабый электрический разряд, разрушает сопротивление, и через "дыру" начинает идти ток. Этот ток в свою очередь разрушает сопротивление около краев "дыры", и возбуждение распространяется дальше. Так возникает нервный импульс.

Прохождение сигнала можно легко и точно зарегистрировать, приложив к различным участкам нервной клетки два электрода. Если сигнала нет, потенциал обоих электродов одинаков и ток в приборе не проходит. Если же появился сигнал, под одним из электродов проходит зона отрицательного потенциала, которую можно выявить в виде волны или зубца на экране электроннолучевой трубки (рис. 20-3). Варианты этого метода широко используются при изучении нервной системы.

В нейронах человека импульс проводится со скоростью порядка 4 м/с, а у большинства беспозвоночных значительно медленнее. Чем толще отросток нейрона (нервное волокно), тем быстрее распространяется в нем сигнал. Для ускорения передачи сигналов нервные волокна позвоночных покрыты слоем изолирующего жирового вещества, называемого миелином.

Рефрактерное состояние

Сигнал, перемещаясь, оставляет позади себя клеточную мембрану с низким электрическим сопротивлением, но очень быстро, примерно через тысячную долю секунды, восстанавливается нормальный мембранный потенциал. До его восстановления следующий

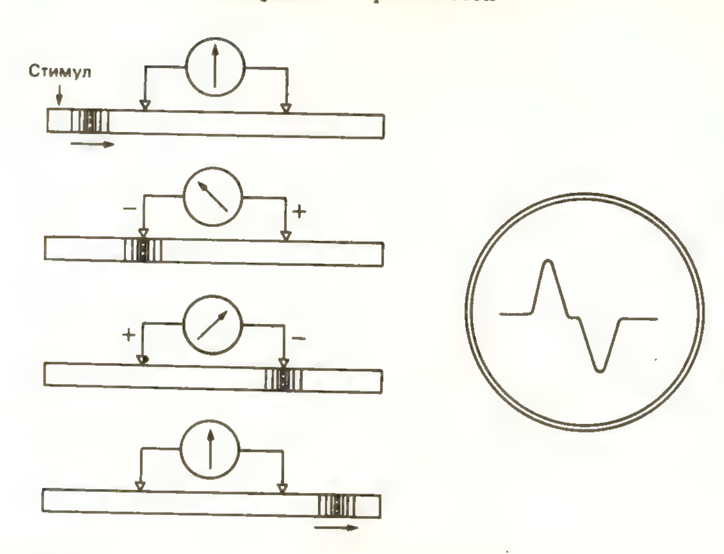


Рис. 20-3. Проведение сигнала по нервному волокну. Стимул вызывает деполяризацию некоторой зоны волокна, которая становится электроотрицательной по отношению к остальной его части. Эта зона возбуждения распространяется вдоль по волокну и может быть зарегистрирована с помощью осциллографа (*справа*).

сигнал не может здесь возникнуть или не может пройти через такую деполяризованную зону. Подобное состояние нерва называется рефрактерным. Если два сигнала с обоих концов нервного волокна идут навстречу один другому, они взаимно гасят друг друга, так как оба создают рефрактерное состояние. Длительность рефрактерного состояния, или "периода рефрактерности", определяет, сколько импульсов может пройти по волокну в секунду.

Сигнал распространяется без ослабления

Сигнал передается по нервному волокну, не затухая, т. е. не становится слабее, пройдя какое-то расстояние. В качестве аналогии можно представить себе эшелон с порохом: подорвите его с одного конца, и взрыв будет распространяться по всей его длине, не ослабевая, так как необходимая энергия содержится в химической форме в самих вагонах. Но один такой "сигнал" исчерпает все запасы, так что для проведения следующего их пришлось бы восстановить. В нерве это каждый раз происходит автоматически — он

сам восстанавливает сопротивление мембраны и разность потенциалов между двумя ее сторонами. Для этого используется энергия, которую доставляют обменные процессы в клетке.

Принцип "всё или ничего"

Обычно нервный импульс возникает по принципу "всё или ничего", т. е. либо не появляется вовсе, либо достигает максимальной силы. Здесь опять напрашивается аналогия с ружьем: если нажать на спусковой крючок, выстрел либо раздастся, либо нет, но он не будет "частичным": пуля не полетит быстрее, если мы будем давить на спусковой крючок с большей силой. (В нервной системе бывают исключения из этого правила, но только при передаче сигналов на очень короткие расстояния.)

Реакция нейрона может, однако, отражать и силу воздействия стимула (как бы "силу давления на спусковой крючок"). При более интенсивной стимуляции возрастает *частота* возникновения импульсов. Таким образом, информацию о силе раздражителя передает не каждый отдельный импульс, а весь поток возникающих импульсов.

Химические сигналы

Обычно сигнал передается по цепи нейронов. Каждый предшествующий нейрон в определенном месте тесно сближен с последующим. Такое соединение называется *синапсом*. В общих чертах синапс можно рассматривать как своеобразное реле, передающее сигнал с одного нейрона на другой. Когда электрический сигнал доходит до синапса, здесь происходит выброс *нейромедиатора* — специфического вещества-передатчика, упакованного в мельчайшие пузырьки. Эти пузырьки высвобождают медиатор в щель между двумя нейронами, и он путем диффузии достигает противоположной стороны этой щели. Здесь он возбуждает другой электрический сигнал, который распространяется по следующему нейрону. Нейрон реагирует на медиатор только в том случае, если на его поверхности имеются особые молекулы, так называемые рецепторы, способные связывать данный медиатор. Рецепторы очень специфичны, они связывают только определенные медиаторы и не реагируют на другие.

В конце концов сигнал может дойти до органа-эффектора, например мышцы. Здесь тоже происходит выброс медиатора, вызывающего мышечное сокращение.

В нервной системе используется много различных нейромедиаторов. Один из самых распространенных — ацетилхолин, эфир уксусной кислоты, но есть и другие, в том числе ряд аминокислот. Особый интерес представляет группа медиаторов, напоминающих по своей структуре морфин и некоторые другие наркотики.

Для передачи следующего сигнала синапс должен быть приведен в первоначальное состояние. Для этого в нем имеются ферменты, очень быстро разрушающие медиатор. Если бы он не удалялся, то второй (*постсинаптический*) нейрон подвергался бы длительной стимуляции независимо от поступления дальнейших сигналов. Разумеется, медиатор в первом (*пресинаптическом*) нейроне все время образуется заново, чтобы синапс был готов к передаче следующего сигнала.

Торможение

Выделяемый нейроном медиатор может также тормозить передачу сигналов через синапс между двумя другими нейронами. Возбуждающее или тормозное действие зависит не от самого медиатора, а от особенностей синапса, от того, каким видом рецепторов обладает постсинаптический нейрон. Наличие возбуждающих и тормозных синапсов как раз и делает возможной сложную переработку сигналов нервной системой.

Как и следовало ожидать, недостаточное образование или разрушение нейромедиаторов приводит к сбоям в функционировании нервной системы, например к болезни Паркинсона, особенно у пожилых людей. Ввиду их большого практического значения медиаторы, их рецепторы и вообще все аспекты синаптической передачи сигналов сейчас интенсивно изучаются.

О некоторых дополнительных функциях электрических сигналов

В биологии можно найти немало примеров того, как функции, развивающиеся для одной цели, в дальнейшем видоизменяются для выполнения совершенно иных задач. Это относится и к электрическим сигналам в нервно-мышечной системе.

Когда мышца сокращается, она производит слабый электрический разряд, подобно тому как это делает нейрон. Поскольку нейроны по природе своей чувствительны к электрическим токам, у ряда рыб, а среди млекопитающих — у утконосов, развились специальные сенсорные органы, позволяющие им распознавать добы-

чу (например, раков в мутных грязных водах) по токам, создаваемым ее мышцами.

Электрические потенциалы, возникающие в большинстве мышечных клеток, невелики, порядка 0,01 В, но у некоторых рыб они могут быть намного больше. Их электрорецепторы способны улавливать возмущения, производимые внешними объектами (особенно другими рыбами) в собственном электрическом поле рыбы, а путем изменения частоты импульсов одни особи могут подавать сигналы другим. Подобная деятельность носит характер активного исследования окружающей среды, сходного с эхолокацией у летучих мышей или с использованием радаров человеком.

С помощью батарей, состоящих из видоизмененных нервных клеток, соединенных последовательно, электрические скаты и электрические угри производят разряды, способные парализовать хищника или добычу.

Существует и много иных структур, первоначально выполняющих одну функцию, но впоследствии переключившихся на совсем другую. Например, три малюсенькие косточки в нашем ухе, служащие ныне для проведения звука, у наших рыбообразных предков находились в составе нижней челюсти и исходно служили опорой для жабр, которые вначале использовались для фильтрации пищи и воды, а позднее — для дыхания (рис. 20-8).

Взаимодействие нескольких нейронов

Переработка информации нервной системой подразумевает взаимодействие сигналов; их дальнейшая передача или затухание зависят от других сигналов. Возьмем два нейрона, a и b, которые оба связаны с третьим нейроном, c. Этот третий нейрон соединен с каким-то четвертым или с эффектором:

$$
\begin{array}{lll}
— \ (\text{нейрон } a) \ \rightarrow & & \\
 & (\text{нейрон } c) \rightarrow \ldots & \\
— \ (\text{нейрон } b) \ \rightarrow & &
\end{array}
$$

Здесь возможны несколько ситуаций:

А. Нейрон c может активироваться сигналом как от a, так и от b. Это будет цепь "или": она включается под действием a *или* b.

Б. Из-за недостаточного количества выделяемого медиатора ни a, ни b в отдельности не может активировать клетку c — для этого требуется их совместное воздействие. Это цепь "и": c возбуждается только при одновременном действии a *и* b.

В. Возможны также различные тормозные эффекты. Один из нейронов, например b, может подавлять передачу сигнала в синапсе. В этом случае цепь активируется под действием a, если только одновременно с a не действует b. Это сеть типа a, *но не вместе с* b.

По сути мы имеем здесь дело с переключательными устройствами того же типа, что и в калькуляторах, телефонных коммутаторах и т. п. Присутствием или отсутствием сигнала в нейроне b определяется возможность передачи $a \to c$. Будет ли b облегчать или тормозить эту передачу, зависит от конструкции переключателя: сигнал в нейроне b может открыть путь между a и c или, наоборот, закрыть его.

Эти переключатели, однако, совсем не так просты, как в компьютере. В головном мозгу многие нейроны представлены очень маленькими клетками с сильно разветвленными дендритами и аксонами, которые образуют многочисленные синапсы с множеством расположенных поблизости нейронов. Некоторые из этих синапсов возбуждающие, другие — тормозные, и передача сигнала с одного нейрона на другой зависит от совместного действия всех синапсов, т. е. от баланса между возбуждением и торможением. Некоторые синапсы выделяют больше медиатора, чем другие, а поэтому вносят более весомый вклад в окончательное решение.

Нередко эти мелкие нейроны образуют до 2000 синаптических соединений с соседними клетками. Часто говорят, что наш мозг содержит около 10^{11} функциональных единиц, имея в виду нейроны. Но если считать такими единицами синапсы, то это число возрастает до 10^{13}. Однако сложность всей системы не следует переоценивать. То, что мы видим, слышим, делаем или думаем, вовсе не зависит от каких-то единичных нейронов. Наш мозг работает статистически, и большей частью здесь важны массовые потоки импульсов. Фактически можно удалять весьма значительные по размерам части мозга без особых последствий. По мере старения мозга мы и естественным образом теряем 1–2 нейрона ежесекундно. Именно этот статистический аспект делает изучение мозга не совсем безнадежным делом.

Можно ли сравнить мозг с компьютером?

Мы часто рассуждаем о мозге так, как если бы он был компьютером. Но действительно ли это компьютер, отличающийся только тем, что он построен из углеродных соединений, а не кремниевых элементов? Ответ на этот вопрос не так прост.

В некоторых важных аспектах мозг не похож на цифровую ЭВМ. Хотя отдельные нейроны генерируют и перерабатывают дискретные сигналы (импульсы), для получения конечного результата обычно важны не единичные импульсы, а целые их потоки. В этом отношении наш мозг напоминает скорее аналоговое вычислительное устройство, где переменные представлены количественными характеристиками (разностями потенциалов и т. п.), или логарифмическую линейку, где числа представлены отрезками на логарифмической шкале. Кроме того, в отличие от цифровой ЭВМ мозг может изменять силу синаптических соединений, особенно за счет выработки гормонов. Поэтому, строго говоря, нужно дать отрицательный ответ: мозг не очень похож на цифровой компьютер, но не вполне сходен также и с аналоговым.

Однако мозг, несомненно, производит вычисления. Более того, какого бы рода машиной он ни был, его функции, включая и аналоговые, можно моделировать или имитировать на цифровой ЭВМ. Поэтому в таком смысле работу мозга можно, по крайней мере в принципе, воспроизвести с помощью цифрового компьютера.

Когда мы думаем о мозге как о компьютере, мы стараемся построить модель, которая нам кажется более понятной, и это очень часто бывает полезным. Но для того чтобы решить, в чем наша модель адекватна и в чем нет, нужны здравые суждения и интуиция. Очень легко недооценить мозг, наивно приняв его за разновидность знакомого нам цифрового компьютера, но еще легче вообще не понять его, если мы не в состоянии сравнить его с ЭВМ.

Рефлекторная дуга

Первичный элемент функционирования нервной системы — это рефлекторная дуга, действие которой мы показали на примере втягивания щупалец у червя. В простейшей форме она состоит из одного нейрона, соединяющего сенсорную клетку (скажем, фоторецептор) с эффектором (например, с мышечной клеткой):

Рецептор → Нейрон → Мышца.

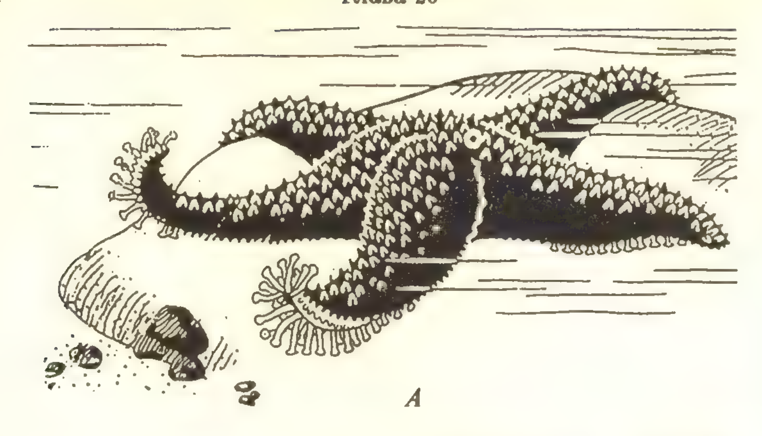
Получая сигнал от рецептора, нейрон передает его в форме нервных импульсов мышце, которая затем сокращается. Обычно между рецептором и эффектором имеется несколько нейронов; но независимо от их числа вся система подобна дверному звонку: вы нажимаете на кнопку и раздается звонок. Такие рефлекторные дуги есть у всех животных. Когда собака чует запах пищи, у нее начинает выделяться слюна; когда что-то мелькает у нас перед самыми глазами, мы моргаем.

Хотя в принципе рефлекторные дуги можно уподобить дверному звонку, они далеко не всегда так просты. Большая часть рефлекторных дуг идет от сенсорных органов сначала к центральной нервной системе, а уж оттуда к органам-эффекторам. Благодаря этому на срабатывание рефлекторной дуги могут влиять и сигналы из иных источников, в частности из другой рефлекторной дуги. В процессе эволюции отдельные рефлексы все больше интегрируются и попадают под контроль высших нервных центров. В свою очередь связи с этими высшими центрами можно рассматривать как рефлекторные дуги, осуществляющие контроль над дугами низшего порядка.

У более примитивных животных с диффузной нервной системой контроль над рефлекторными дугами осуществляется слабо. Рассмотрим, например, передвижение морской звезды. Это животное передвигается с помощью так называемых *амбулакральных ножек* — многочисленных выростов с присосками на концах. Амбулакральные ножки составляют часть сосудистой системы, содержащей морскую воду под небольшим давлением. Это давление в сочетании с активностью мышц заставляет ножки вытягиваться и прикрепляться к субстрату, а затем укорачиваться и перемещать животное (рис. 20-4).

В амбулакральных ножках имеется сеть нейронов, управляющих мышцами. Немецкого биолога фон Икскюлля поразили рефлексы этих ножек: как выяснилось, ножки реагировали только на раздражители, действующие в непосредственной близости к ним. У каждой из них был свой собственный набор рефлексов, и казалось, что их интеграция осуществляется чисто механически. Он описал морскую звезду как "республику рефлексов" и выразительно пояснил это следующим образом: если собака, чтобы бежать, двигает ногами, то у морской звезды ноги самостоятельно передвигают тело.

Процессы интеграции у морской звезды в самом деле слабы. Известны случаи, когда морская звезда разрывалась на две части, так как одна группа амбулакральных ножек тянула в одну сторону, а другая — в противоположную. Однако интеграция все же существует, и поведение морской звезды выглядит хорошо скоординированным, когда она, например, кормится мидиями. Прикрепившись к раковине, она двумя группами ножек оттягивает ее створки в разные стороны, и в результате длительных усилий раковина, наконец, открывается; тогда желудок морской звезды выворачивается наружу, обхватывает и переваривает добычу. Это довольно сложное и координированное поведение едва ли было бы возможно, если бы морская звезда действительно была "республикой рефлексов".



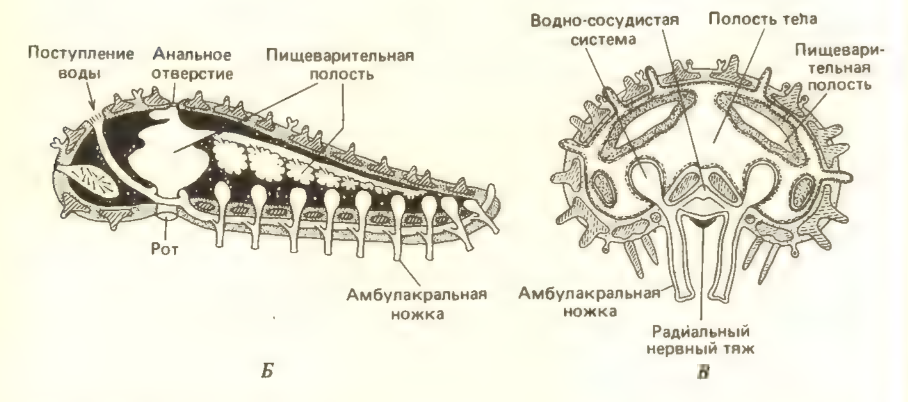


Рис. 20-4. Так передвигается морская звезда (*А*) при помощи своих трубчатых амбулакральных ножек. Они могут присасываться к предметам, наполняться водой или, наоборот, спадаться и укорачиваться в зависимости от давления воды в водно-сосудистой системе. На продольном (*Б*) и поперечном (*В*) срезах показаны основные анатомические особенности. Основная часть нервной системы — это нервная сеть, но нейронные пучки образуют в каждом из лучей нечто вроде нерва, который соединен с кольцом нейронов вокруг рта, образуя примитивную центральную нервную систему. Ганглиев или мозга, однако, нет. Ножки движутся с помощью мышц, действие которых отчасти контролируется ближайшими участками нервной сети, а затем координируется, хотя и в слабой степени, нервными пучками. Этого достаточно, чтобы производить хорошо согласованные действия, когда нужно передвигаться, выравнивать положение тела, открывать створки раковины у моллюска и поедать его.

Нервная сеть

Тем не менее интеграция у морской звезды действительно слабая, так как у нее отсутствуют высшие центры — нет мозга в строгом смысле этого слова или сколько-нибудь развитой центральной нервной системы. Ее нервная система — это по существу диффузная сеть нейронов. Поскольку у морской звезды она изучена пока недостаточно, мы рассмотрим нервную систему кишечнополостных — медуз, актиний и коралловых полипов.

Кишечнополостные — животные с преимущественно радиальной симметрией, имеющие форму блюдца или чаши. Типичное строение кишечнополостных можно показать на примере медузы (рис. 20-5). Ее тело имеет форму колокола. Внизу находится ротовое отверстие, ведущее в разветвленную полость, которая соответствует желудку; здесь происходит переваривание пищи и распределение ее между различными частями тела. Эта полость участвует также в дыхании и в выведении ненужных продуктов, выделяемых клетками ее поверхности, так что в одном органе сочетаются функции пищеварительной, сосудистой, дыхательной и выделительной систем. Поэтому полость называют гастроваскулярной. Рот медузы имеет трубкообразный вырост (манубриум), а вокруг рта находятся щупальца, захватывающие добычу и направляющие ее в рот. Все кишечнополостные плотоядны, они питаются животными подходящих размеров — от простейших до червей, мелких ракообразных и рыб.

Кишечнополостные — широко распространенные и интересные животные. В определенные времена года море во множестве выбрасывает медуз на берег, и тогда они не слишком привлекательны, но в естественной среде обитания они прекрасны, когда проплывают мимо, ритмично сокращая свои зонтики. В более холодных северных водах медузы бывают ярко окрашенными и часто вырастают до больших размеров: диаметр зонтика может достигать нескольких футов. Тот, кому довелось увидеть крупную медузу, например *Chrysaora*, вряд ли ее когда-нибудь забудет (рис. 20-6). Актинии тоже очень красочны, это настоящие морские цветы. Некоторые из кишечнополостных, такие как морское перо, живут колониями и выделяют вещество, скрепляющее отдельных особей между собой. Кораллы могут образовывать огромные известковые рифы.

Передача сигналов в диффузной нервной сети

Нервная система кишечнополостных — это диффузная сеть их нейронов (рис. 20-7), расположенных непосредственно под поверхностным слоем клеток, причем каждый нейрон образует синапти-

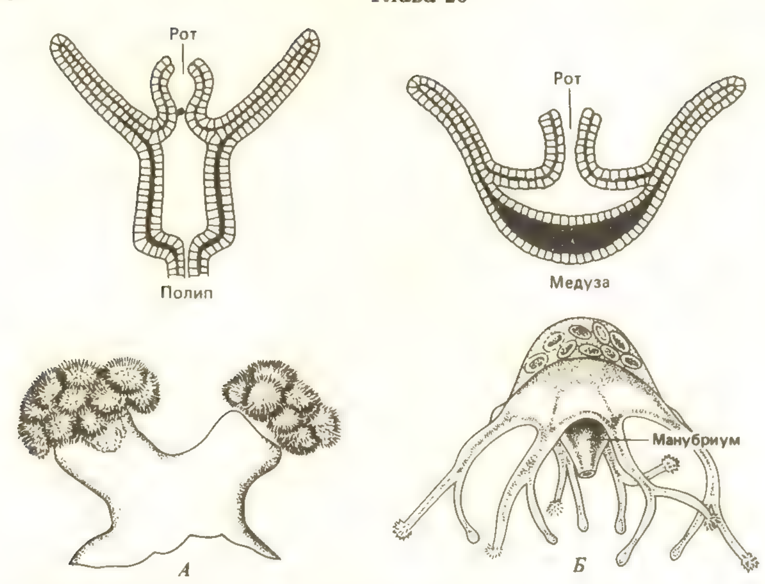
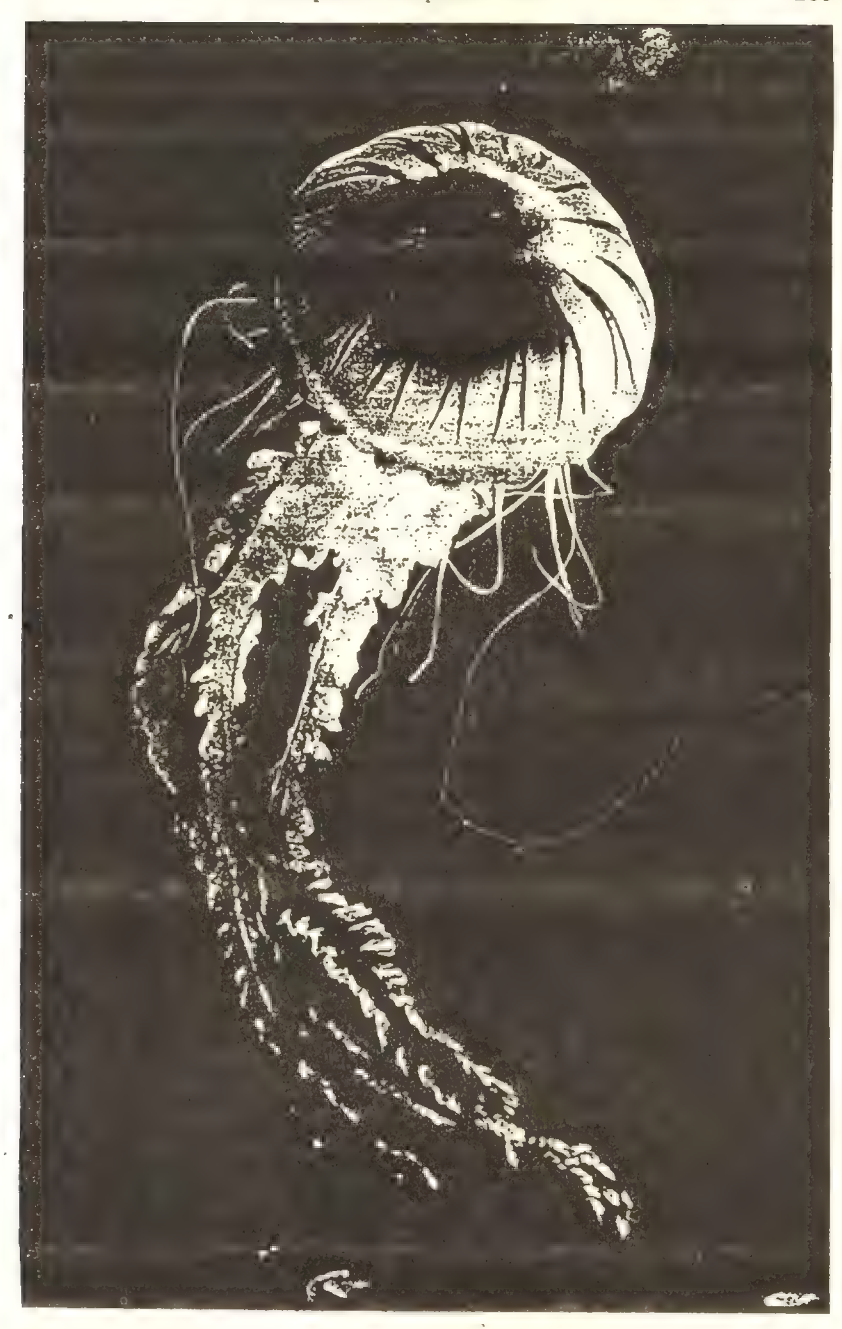


Рис. 20-5. Строение кишечнополостных двух основных типов — полипов и медуз (*вверху*). В обоих случаях тело напоминает чашу, образованную двумя слоями клеток, между которыми имеется слой студенистого вещества. Ротовое отверстие ведет в полость тела, где происходит пищеварение. Вокруг рта расположены щупальца для захвата добычи, например небольших ракообразных и рыб. В щупальцах имеются стрекальные капсулы, выделяющие яд. Полипы — сидячие организмы, они прикрепляются к субстрату в положении кверху ртом, а медузы — плавающие. *А*. — типичная актиния с многочисленными мелкими щупальцами; здесь она делится надвое, чтобы получилось две новые особи. У полипов это довольно обычный способ размножения. *Б* — одна из просто устроенных медуз (1 — манубриум, трубкообразный вырост рта).

ческие соединения с несколькими другими. У медузы имеется, по существу, несколько нервных сетей, в некоторой степени связанных между собой, так что сигнал может передаваться от одной нервной сети к другой, хотя и не так легко, как внутри одной сети. Нейроны посылают также сигналы к мышечным клеткам, тоже расположенным под поверхностью тела. Их сокращения приводят к периодическому сжатию зонтика и продвижению животного

Рис. 20-6. Хризаора — крупная и красивая медуза, встречающаяся в холодных водах.



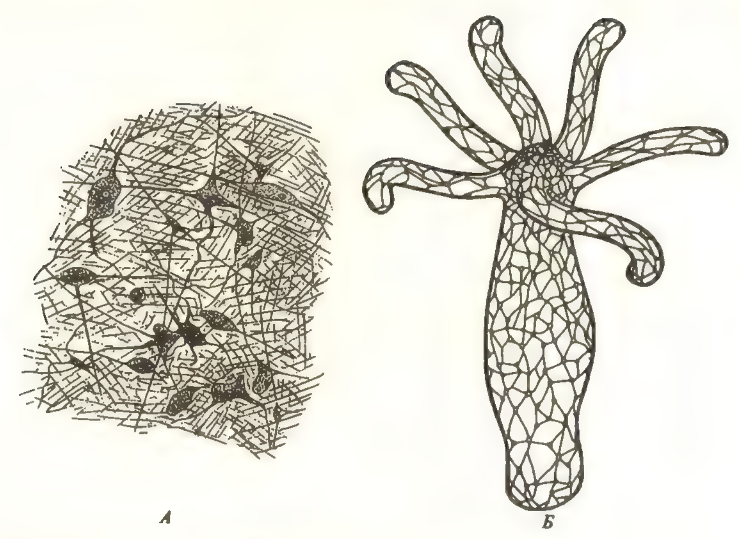


Рис. 20-7. *А*. Нервная система кишечнополостных состоит из рыхлой сети нейронов, расположенной около поверхности тела. *Б*. Здесь схематически показана нервная сеть очень небольшого пресноводного полипа — гидры. Даже у этого организма нейроны распределяются неравномерно и образуют более плотную сеть на одном участке — возле рта. У более крупных кишечнополостных может быть несколько нервных сетей, слабо связанных друг с другом; имеются, однако, более плотные пучки нейронов, идущие от одной части тела к другой; в функциональном отношении это уже примитивные нервы.

вперед, в то время как другие сигналы заставляют щупальца двигаться и подносить пищу ко рту.

Так как нейроны образуют более или менее случайную сеть, передача сигнала возможна от любой точки к любой другой, в том числе и обратно к исходной точке. Поэтому раздражение одного участка тела может вызвать реакцию в любом другом участке.

В пределах нейрона сигнал проводится без ослабления, т. е. его интенсивность не уменьшается в процессе передачи. Но это вовсе не значит, что он не может затухать в пределах всей нервной сети, так как здесь передача сигнала определяется свойствами синапсов. Единичный сигнал, пришедший к синапсу, может оказаться недостаточным для возбуждения следующего нейрона; иногда для этого требуется одновременное прибытие двух сигналов. Более сильный раздражитель, приводящий к возникновению большого числа сигналов, будет вызывать их передачу на более да-

лекое расстояние. Слабое раздражение нервной сети в одной точке может привести только к местной реакции, а сильное — к реакции всего животного.

Поведение медузы

Казалось бы, нервная система медузы вряд ли на многое способна, однако в действительности это животное может осуществлять довольно сложное и хорошо управляемое поведение.

Прежде всего, медуза не просто плавает, но и варьирует, если нужно, скорость передвижения. Имеются “быстрые” нервные клетки, импульсы которых приводят к синхронным и сильным сокращениям всего зонтика, и “медленные”, изменяющие силу сокращений. Кроме того, медуза не просто плавает в одном случайном направлении: нервы получают информацию от рецепторов, и с учетом этой информации может происходить асимметричное изменение сократительной активности, что позволяет медузе изменять курс.

Обычно животное всегда плавает в вертикальном положении, при котором рот и щупальца находятся внизу. Как это достигается, можно понять, изучив реакцию на силу тяжести у гребневика *Beroë* (рис. 20-8). Тело *Beroë* обладает в основном радиальной симметрией с восмью рядами гребных пластинок, проходящими сверху вниз по бокам тела. Гребные пластинки состоят из ресничек, биение которых перемещает животное в воде. Ряды пластинок сгруппированы в четыре пары, каждая из которых контролируется как самостоятельная единица. Гребные пластинки всегда активны, если только их биение не тормозится нервами.

Не верхней стороне, т. е. напротив рта, имеется орган равновесия — статоцист. Он состоит из тяжелой частицы, поддерживаемой четырьмя пучками ресничек. От каждого пучка идет цепочка нейронов к гребным пластинкам соответствующей стороны. Когда животное находится в вертикальном положении, тяжелая частица давит на все четыре пучка одинаково и все ряды гребных пластинок подвергаются нервной стимуляции одинаковой силы. Но если животное наклонилось, частица давит больше на один из пучков и меньше на другие. В результате нервная стимуляция становится неравномерной и биение всех гребных пластинок, за исключением тех, что находятся на опустившейся стороне тела, затормаживается. Положение животного выравнивается.

Медузы управляют положением своего тела в пространстве сходным способом, но статоцист у них не один, а органами движе-

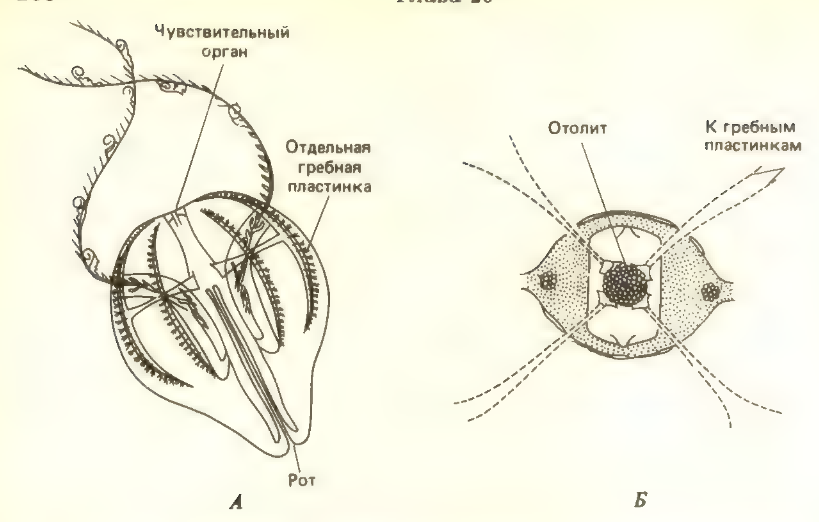


Рис. 20-8. *А*. Гребневик — животное, близкое к кишечнополостным, — плавает с помощью небольших волосовидных ресничек, склеенных в гребные пластинки, расположенные рядами. *Б*. На полюсе тела, противоположном рту, находится чувствительный орган — статоцист. Если животное отклоняется от нормального вертикального положения, например, влево, известковая частица в статоцисте начинает сильно давить на сенсорные клетки левой стороны. В результате возникают нервные импульсы, поступающие в нейронный пучок под левой полосой гребных пластинок. Реснички здесь начинают работать быстрее, и животное вновь приобретает вертикальное положение.

ния служат не реснички гребных пластинок, а мышцы. Реакция не сводится здесь к поддержанию постоянного положения тела: если медузу потревожить, она переворачивается и плывет вниз, в глубину, в положении, противоположном обычному. Это реакция бегства.

Одна из проблем, с которой сталкивается медуза, состоит в определении положения частей тела относительно друг друга. Это особенно важно, когда щупальце схватило добычу и нужно поднести ее ко рту. Строго говоря, медуза понятия не имеет, где рот, а где щупальца, но тем не менее достигает желаемого результата.

В манубриуме, в области рта имеется нервная сеть, с помощью которой осуществляется поглощение пищи. Если одно из щупалец получает раздражение от добычи, нервные импульсы идут от него в ротовую область; при этом наиболее сильный сигнал поступает в ту часть манубриума, которая ближе всего к щупальцу, захва-

тившему пищу. Здесь происходит сокращение мышц, и весь манубриум поворачивается в сторону этого щупальца. Сигнал обладает наибольшей силой возле щупальца с пищей потому, что дальше он постепенно затухает.

Медуза обладает и многими другими реакциями, базирующимися на сигналах от органов чувств, например от светочувствительных органов (примитивных глаз). Хотя нервная система медузы может показаться простой, она служит основой хорошо координированного поведения. Однако никому еще не удалось обучить медузу чему-то новому, и это, видимо, относится ко всем животным, имеющим только диффузную нервную сеть. Память и научение — прерогатива более способных существ.

Глава 21

Нервная система

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Нервная система у высших животных развилась постепенно из диффузной нервной системы, где в определенных участках нейроны стали концентрироваться и образовали в конце концов центральную нервную систему — головной и спинной мозг или его эквиваленты. Зачаток головного мозга можно увидеть у некоторых плоских червей. По мере развития мозга он берет на себя ряд функций, выполнявшихся нервной сетью, а также делает возможным появление новых функций.

Первоначальная структура центральной нервной системы — это нервный тяж, идущий вдоль тела. Передняя часть его расширяется, образуя головной мозг, а задняя становится спинным мозгом. Значительную часть спинного мозга составляют нервные пути, передающие сигналы к головному мозгу и от него.

Головной мозг позвоночных вначале был довольно простым образованием, состоявшим из трех основных частей; одна из них обслуживала обоняние, другая — зрение, а третья — слух и чувство равновесия. Но по мере эволюции мозга одни его отделы усиленно развивались, а другие редуцировались. "Обонятельный мозг" образовал два выпячивания, ставшие мозговой корой и особенно заметные у высших млекопитающих. Некоторые части коры заняты анализом и ассоциированием входных сигналов, т. е. "высшими умственными функциями".

Значительная часть головного мозга состоит из систем, анализирующих сенсорную информацию, и из двигательных центров. Получая соответствующие сигналы, двигательные центры посылают импульсы, вызывающие координированное сокращение мышц.

Периферическая нервная система состоит из нервов, т. е. пучков аксонов, несущих сигналы к мозгу (головному или спинному) и от него. Существует также особая система нервов, иннервирующая внутренние органы, — автономная, или вегетативная, система. Она контролирует многие функции организма, которые мы не осознаем, например моторику кишечника; с нею бывают иногда связаны "психосоматические" заболевания.

Важнейшая часть головного мозга — его два больших полушария, правое и левое. Оба полушария имеют сходные функции и, таким образом, во многом дублируют друг друга, хотя у человека между ними есть существенные различия.

Цефализация — формирование головы

Подвижному животному важно знать, куда оно движется и какого рода вещи — приятные или опасные — может встретить. Это способствует развитию органов чувств, таких как глаза, органы обоняния и вкуса и т. д., в передней части тела. Соответственно здесь увеличивается и масса нейронов, обрабатывающих информацию, т. е. формируется головной мозг. Рот тоже должен находиться впереди, чтобы легче было захватывать встретившуюся пищу. Так образуется голова — часть тела, несущая важнейшие сенсорные органы, мозг и рот для поглощения корма. Этот процесс называется цефализацией (от греческого *кефалос* — голова).

И наоборот, если животное ведет сидячий образ жизни, голова у него не развивается, а если она уже была, то происходит ее редукция. Предковые формы моллюсков были подвижными животными, и у улиток имеется хорошо развитая голова, но у устриц и других двустворчатых она редуцирована. У таких животных плохо развита и нервная система; они способны выполнять лишь несколько простейших реакций, и сложный мозг им просто не нужен.

Зачаточные формы мозга

Первые зачатки мозга можно увидеть у некоторых плоских червей (рис. 21-1, *А*). Они имеют удлиненную, а не радиально-симметричную форму, но кое в чем сходны с кишечнополостными. У них тоже имеется разветвленная пищеварительная полость, однако нет специализированной сосудистой или дыхательной системы. Все свободноживущие плоские черви — хищники, питающиеся животными, которых они в состоянии поймать.

Плоские черви обычно ползают с помощью мельчайших волосовидных ресничек, но могут и плавать, совершая изящные волнообразные движения. Более крупные морские формы нередко бывают окрашены в яркие цвета, и при плавании края их тела напоминают развевающуюся юбку танцовщицы. Обитатели пресных вод, такие как планарии, обладают более скромной внешностью,

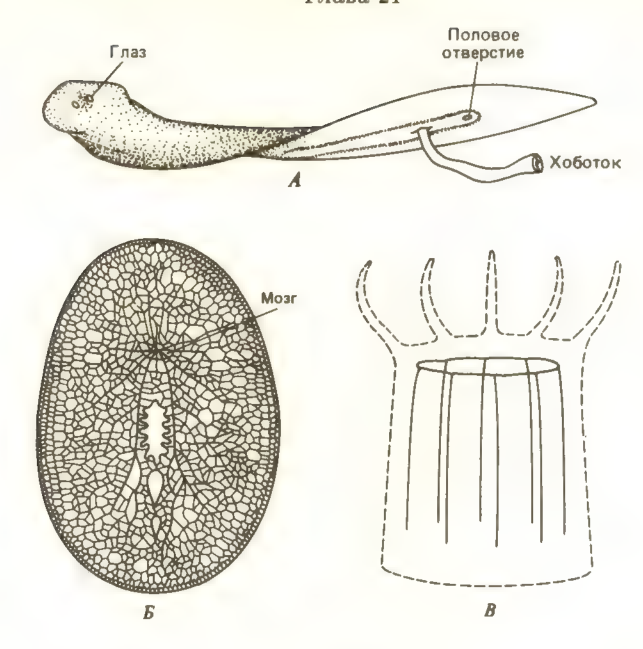


Рис. 21-1. *А*. Планария — пресноводный плоский червь. *Б*. У мелких плоских червей имеется диффузная нервная сеть; у более крупных и развитых в передней части тела нейроны уплотняются, образуя зачатки мозга. Могут развиваться также более плотные пучки нейронов — зачатки нервов. *В*. У более крупных кишечнополостных, например у актиний, могут встречаться уплотненные скопления нейронов, образующие пучки, которые служат для ускоренной передачи сигналов. Но поскольку кишечнополостные — радиально симметричные организмы, голова у них не образуется и эволюция не идет в сторону образования мозга.

но из-за своей доступности широко используются как объект биологических исследований. В частности, во многих экспериментах изучалась их способность к регенерации: если разрезать особь на куски, то из каждого куска может сформироваться целый червь.

Нервная система плоских червей в основном представлена нервной сетью, вроде того как у медузы, но у некоторых видов в передней части тела имеется более плотное скопление нейронов (рис. 21-1, *Б*). Хотя такое скопление, которое условно можно назвать мозгом, и составляет часть нервной сети, в ходе эволюции оно начинает оказывать все более существенное влияние на поведение животного.

Роль примитивного "мозга" плоских червей можно определить, удалив его хирургическим путем. У тех видов, у которых такого "мозга" нет, координация всей активности осуществляется нецентрализованной нервной сетью, но чем лучше развит "мозг", тем сильнее сказывается его удаление; при этом для некоторых форм активности он имеет большее значение, чем для других. Создается общее впечатление, что более сложные виды активности координируются "мозгом", а более простые — диффузной нервной сетью. Например, ползание с помощью ресничек легко осуществляется и без "мозга", тогда как мышечное ползание часто прекращается, а более сложные плавательные движения сильно затормаживаются. Поиски и поглощение пищи тоже затрудняются. Здесь мы впервые видим пример впоследствии часто повторяющегося эволюционного "приема" — передачи функций от более древних частей нервной системы к более новым.

Центральная нервная система

Два основных типа центральной нервной системы — это, с одной стороны, тип, свойственный кольчатым червям, членистоногим (ракообразным, насекомым и др.) и моллюскам, а с другой — тип, характерный для позвоночных. В обоих случаях центральная нервная система состоит из идущего вдоль тела нервного тяжа, передняя часть которого разрастается в мозг.

Линия членистоногих

Членистоногие и моллюски произошли от животных, близких к кольчатым червям (наиболее знакомый пример — дождевой червь). У таких животных тело состоит из повторяющихся сегментов (рис. 21-2), каждый из которых содержит все основные органы. Правда, сегментация может видоизменяться или вообще утрачиваться, как у большинства моллюсков. У всех этих животных исходная нервная сеть сконцентрировалась на брюшной (нижней) стороне, образовав две нервные цепочки, идущие вдоль всего тела. Эти две цепочки в конце концов слились в одну. В каждом сегменте имеется скопление нейронов — сегментарный ганглий, по существу небольшой мозг (рис. 21-3). Он координирует активность внутри сегмента, а также получает и передает информацию другим ганглиям через брюшную нервную цепочку.

В переднем, или головном, сегменте двойная нервная цепочка направилась вперед и вверх, образовав кольцо вокруг пищевода;

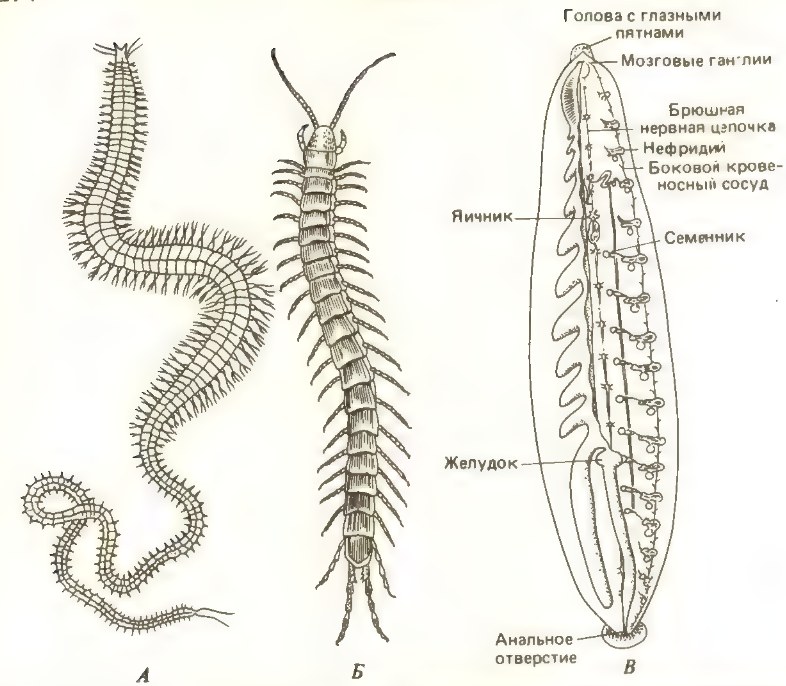


Рис. 21-2. У типичных кольчатых червей тело состоит из повторяющихся однотипных сегментов, каждый из которых содержит полный набор органов, за исключением нескольких первых сегментов, образующих голову. Членистоногие, такие как многоножки, насекомые и ракообразные, сохраняют ту же сегментацию, но сегменты при этом специализируются и отличаются друг от друга. *А*. Морской кольчатый червь палоло. *Б*. Многоножка. *В*. Пиявка, демонстрирующая повторяемость внутренних органов.

над пищеводом сформировался еще один ганглий, который стал доминирующим, и мы его называем мозгом. Именно он координирует деятельность сегментарных ганглиев и выполняет также ряд самостоятельных функций.

Нервная система позвоночных

У позвоночных животных центральная нервная система состоит из головного мозга и спинного мозга. У кольчатых червей и членистоногих орган, аналогичный нашему спинному мозгу, сплошной (не трубчатый) и расположен на брюшной стороне, т. е. под

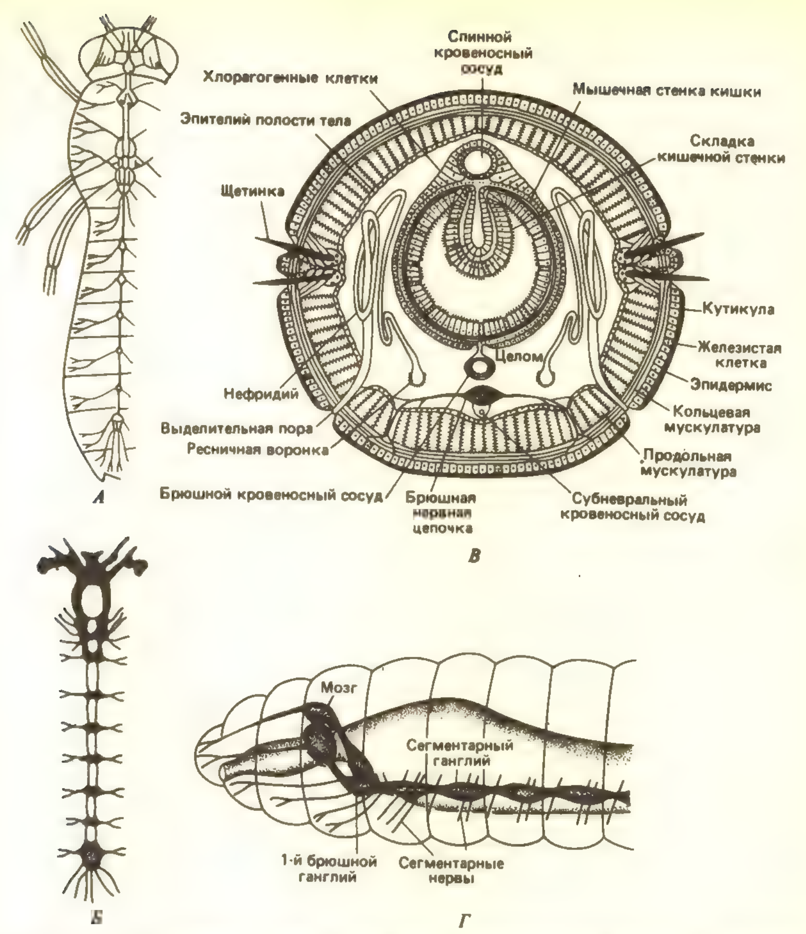


Рис. 21-3. Строение нервной системы у кольчатых червей и членистоногих. *А*. Муха. *Б*. Краб. В каждом сегменте имеется ганглий, своего рода небольшой мозг, ответственный за функции внутри сегмента. От него идут нервы к различным органам, прежде всего к мышцам. В голове имеется гораздо более крупный ганглий — истинный мозг, который координирует деятельность всего тела. *В*. На поперечном срезе тела дождевого червя видна нервная цепочка, расположенная под кишечником. *Г*. У дождевого червя, как и у других кольчатых червей и членистоногих, в передней части тела вентральная нервная цепочка проходит вокруг пищевода — переднего отдела пищеварительного тракта — и образует здесь "мозг". У кольчецов и членистоногих мозг отличается от мозга позвоночных тем, что расположен на брюшной, а не на спинной стороне тела и не развивается в форме трубки.

кишечником. У зародышей позвоночных клеточная полоска, идущая вдоль спины, сворачивается в полую трубку — спинной нервный тяж (рис. 21-4, *А* и *Б*). При дальнейшем развитии задняя его часть становится спинным мозгом, а передняя сильно расширяется и образует головной мозг (рис. 21-5). Поскольку и тот и другой развиваются из трубчатой структуры, они остаются полыми и у взрослых, но полости в них невелики (рис. 21-4, *В*). В головном мозгу они называются желудочками.

Спинной мозг

Спинной мозг — это более примитивная, наименее изменившаяся часть центральной нервной системы позвоночных. Здесь много места занимают нервные пути, по которым от головного мозга передаются сигналы, заставляющие мышцы сокращаться. По другим путям идут сигналы от сенсорных органов. Поэтому разрыв спинного мозга приводит к параличу ниже места повреждения, и чувствительность здесь тоже теряется. Спинной мозг обладает некоторой способностью к переработке поступающих сигналов, но он существенно отличается от головного мозга тем, что не поддается обучению.

Головной мозг позвоночных

Головной мозг позвоночных — это сильно разросшаяся передняя часть спинного нервного тяжа. Так он образуется у эмбриона и так же, видимо, эволюционировал из более простых структур. Прежде всего он подразделяется на задний, средний и передний мозг (рис. 21-5).

1. Задний мозг состоит из продолговатого мозга и мозжечка.

а. *Продолговатый мозг* — самый задний отдел головного мозга — сходен по своей структуре со спинным мозгом, от которого нечетко отграничен. Одна из его важных функций — инициирование и регуляция дыхательных движений.

б. *Мозжечок* образуется из передней части заднего мозга. Его главная функция — тонкая координация сокращений скелетных мышц. При повреждении мозжечка точность движений, инициированных другими отделами мозга, заметно снижается. Например, попытка поднести палец ко рту может окончиться прикосновением к глазу. Мозжечок исключительно хорошо развит у птиц, которые нуждаются в весьма совершенной координации движений при полете.

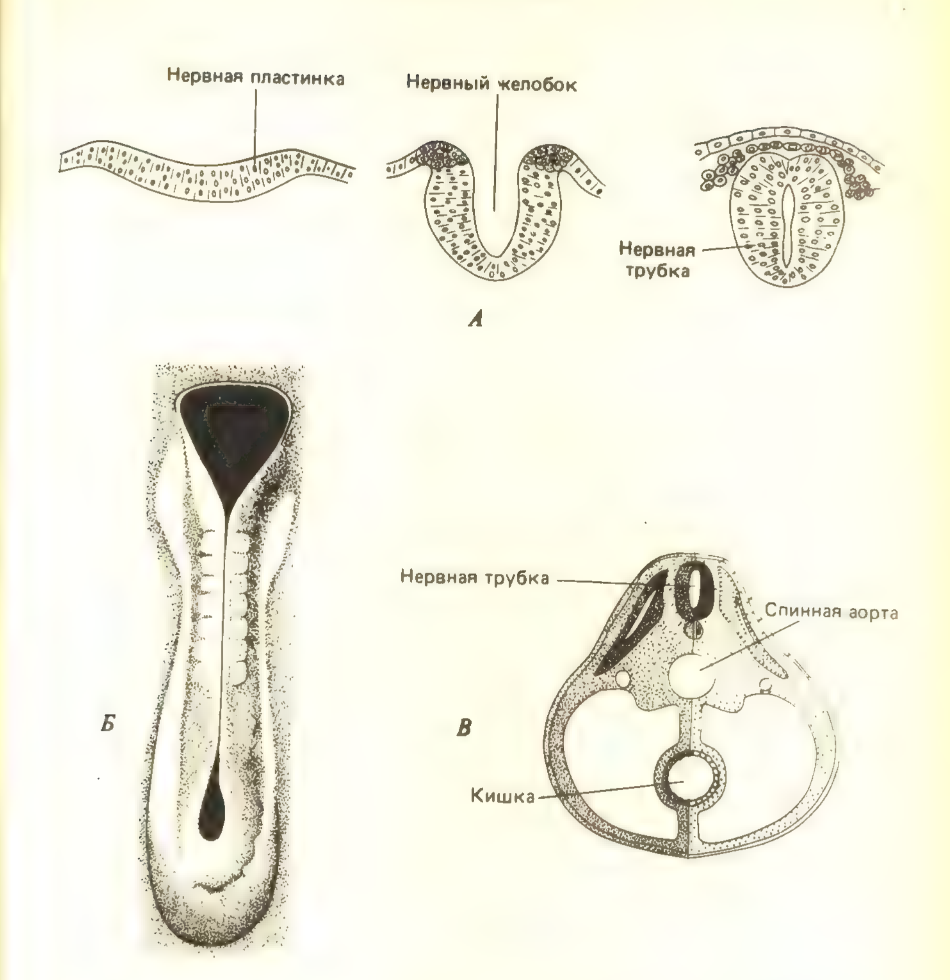
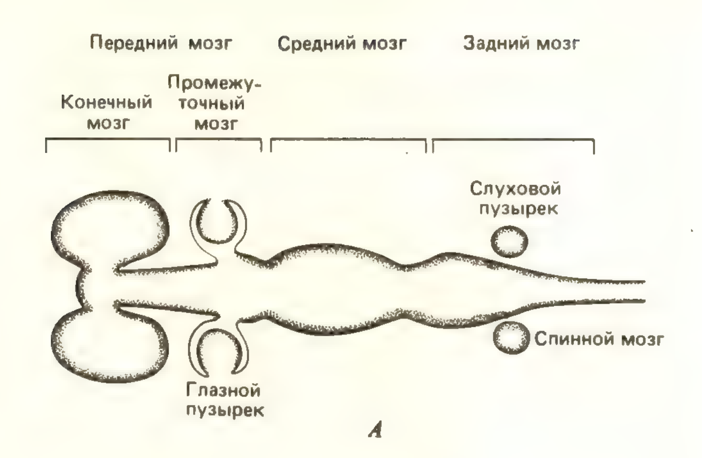
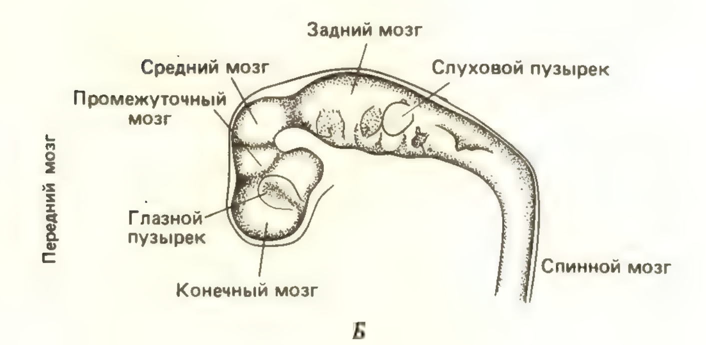


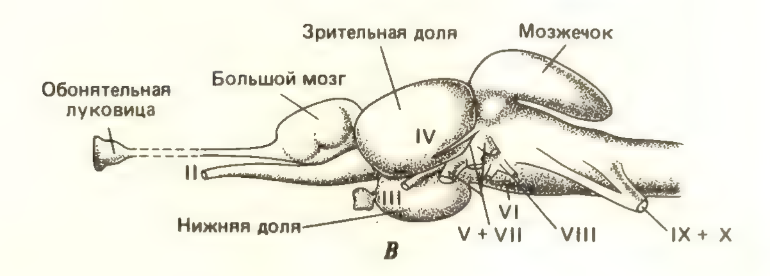
Рис. 21-4. Образование нервной системы у позвоночных. *А*. Дорсальная полоска клеток — нервная пластинка — втягивается внутрь и образует трубку. В головном мозгу формируются небольшие полости, называемые желудочками. *Б*. Замыкание трубки (вид сверху); образуются сегментированные структуры — сомиты. *В*. Поперечный разрез эмбриона позвоночного животного на ранней стадии.


Передний мозг
Средний мозг
Задний мозг
Конечный мозг
Промежу-точный мозг
Слуховой пузырек
Спинной мозг
Глазной пузырек

А


Задний мозг
Средний мозг
Слуховой пузырек
Промежуточный мозг
Передний мозг
Глазной пузырек
Конечный мозг
Спинной мозг

Б


Зрительная доля
Мозжечок
Большой мозг
Обонятельная луковица
IV
II
III
Нижняя доля
VI
V + VII
VIII
IX + X

В

2. Средний мозг был и в большой мере до сих пор остается связан с равновесием и слухом. Здесь перерабатывается информация от органов равновесия, и поскольку средний мозг наряду с мозжечком играет важную роль в координации движений тела, между этими двумя отделами существуют сильно развитые нервные связи.

3. Передний мозг вскоре делится на две части.

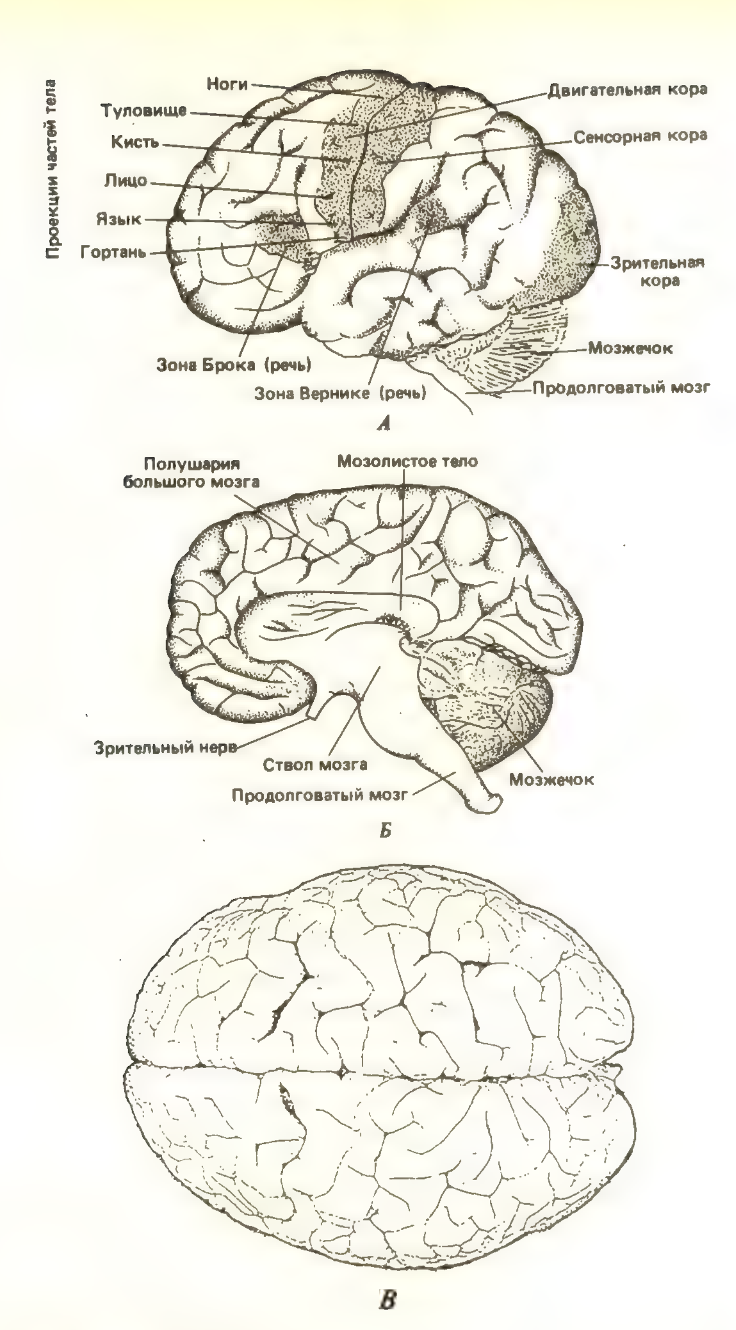
а. Передний отдел — ***конечный мозг*** — изначально был связан с обонянием, получая сигналы через особый нерв от обонятельного эпителия носа или иного аналогичного органа.

б. Задний отдел — ***промежуточный мозг*** — в значительной мере связан со зрением. В процессе развития он образует два выроста, которые становятся сетчатками глаз.

У всех позвоночных животных головной мозг функционирует в общем сходным образом. Приведем один пример: рыбы подвержены зрительным иллюзиям так же, как и мы. Рыбу можно обучить подплывать к более длинной из двух линий. При одинаковой длине двух линий можно сделать так, что одна из них будет казаться нам длиннее (см. рис. 22-4, *Б*). Но она кажется длиннее и рыбе, так как обученная рыба подплывает именно к ней! И все же, несмотря на подобные черты сходства, головной мозг позвоночных претерпел значительную эволюцию.

У более древних и примитивных бесчелюстных рыб конечный ("обонятельный") мозг образует два боковых выроста — *полушария большого мозга*. Первоначально они были невелики и заняты исключительно переработкой информации от органов обоняния. Постепенно, однако, они стали увеличиваться, формируя кору и приобретая другие функции. У таких животных, как высшие приматы и китообразные (включая дельфинов) образуются обширные слои коры, прикрывающие всю массу мозга (рис. 21-6, *А* и *Б*). Кора, как считают, связана с так называемыми высшими психическими функциями; и действительно, у животных с более развитым интеллектом ее размеры больше.

Рис. 21-5. Образование головного мозга — расширенной части дорсальной нервной трубки — у позвоночных. *А*. Вначале мозг подразделяется на три части — передний, средний и задний мозг. Передний мозг вскоре дифференцируется на конечный и промежуточный мозг. Образуются два выроста — глазных пузыря (будущие глаза). *Б*. Ранняя стадия развития мозга у плода. *В*. Мозг трески.


Проекции частей тела
Ноги
Туловище
Кисть
Лицо
Язык
Гортань
Двигательная кора
Сенсорная кора
Зрительная кора
Мозжечок
Продолговатый мозг
Зона Брока (речь)
Зона Вернике (речь)
А
Полушария большого мозга
Мозолистое тело
Зрительный нерв
Ствол мозга
Продолговатый мозг
Мозжечок
Б
В

(Рис. 21-6,*А*, *Б*, *В*)

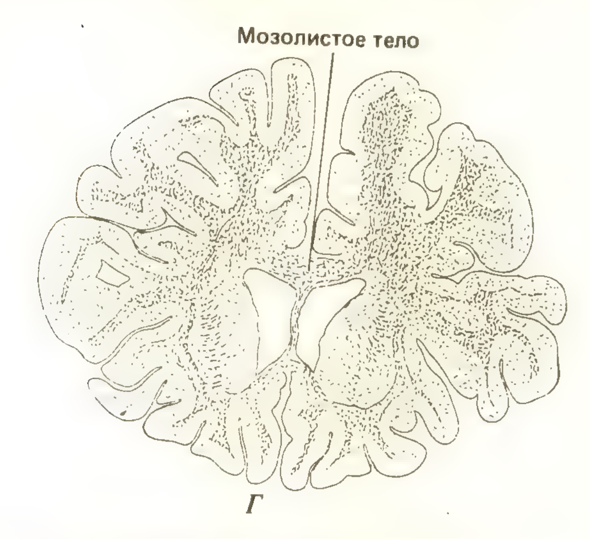


Рис. 21-6. *А Б.* У млекопитающих кора головного мозга — разросшийся конечный мозг — образует два полушария, каждое из которых разделяется на четыре доли, покрывающие большую часть остального мозга. Таким образом, эта часть мозга состоит из двух половин (*В*), но они соединены широким нервным пучком — мозолистым телом (*Г*).

Мозг как двойная структура

Большую часть головного мозга составляют два полушария; следовательно, мозг — это двойная структура (рис. 21-6, *В*). В отношении многих функций, в особенности моторных, левое полушарие контролирует правую половину тела, а правое — левую. Оба полушария, однако, связаны широким тяжем нервной ткани — *мозолистым телом* (рис. 21-6, *Г*) — и обычно действуют как единое целое.

Периферическая нервная система

Головной и спинной мозг получают информацию от органов чувств и посылают приказы мышцам и другим эффекторам по нервам, образующим периферическую нервную систему.

Тело позвоночных сегментировано, как у кольчатых червей и членистоногих, но сегментация здесь касается в первую очередь мышечной системы, и если затрагивает другие органы, то разве что косвенно. Эта сегментация мускулатуры отчетливо видна у рыб,

но ее можно проследить и у нас самих. Свидетельство тому — наш позвоночный столб и прикрепленные к нему мышцы. Это особенно заметно у зародыша (рис. 21-7, *А* и *Б*). От каждого сегмента спинного мозга (рис. 21-7, *В*) отходят две пары спинномозговых нервов — дорсальная и вентральная (рис. 21-7, *Г*). Вентральные нервы передают сигналы мышцам, а дорсальные — к спинному мозгу от органов чувств, таких как осязательные рецепторы кожи или рецепторы растяжения в мышцах, информирующие центральную нервную систему о степени мышечного сокращения. Так обстоит дело у бесчелюстных рыб (миног и миксин), и это примитивная организация. У всех других позвоночных сенсорные и двигательные нервы сливаются в единый спинномозговой нерв с каждой стороны. Однако из спинного мозга они все еще выходят отдельно и носят название дорсальных (чувствительных) и вентральных (двигательных) корешков спинномозговых нервов (рис. 21-7, *Г*)[1].

Голова у позвоночных образована из слившихся передних сегментов, которые первоначально были сходны с расположенными далее, но из-за развития головного мозга, органов чувств и челюстей следы этой сегментации обнаружить нелегко. И все-таки у образующих голову сегментов имеются те же пары дорсальных и вентральных нервов, которые здесь не объединяются в один ствол. Их называют черепными или черепномозговыми нервами.

Однако один из важнейших нервов головы — зрительный нерв, передающий мозгу сигналы от сетчатки глаза, не входит в эту систему сегментарных черепных нервов. Хотя он и функционирует как обычный нерв, это, по существу, внутримозговой путь, соединяющий основную часть мозга с его выростом, отодвинутым на некоторое расстояние и превратившимся в сетчатку (рис. 21-8, *А*). В связи с тем что сетчатка развивается как участок мозга, она и функционирует как его часть, и мы вскоре увидим, что она выполняет ряд сложных операций по обработке первичных зрительных сигналов.

Автономная нервная система

Импульсы, идущие от головного мозга, проходят через спинной мозг и достигают мышц, чтобы вызвать то, что мы обычно называем произвольными движениями — действия, которые мы осознаем и производим по своему желанию. Существует, однако, другая нервная система, анатомически совершенно отличная, пути которой идут от центральной нервной системы к внутренним органам,

[1] У человека в связи с вертикальным положением тела их называют соответственно задними и передними корешками. — *Прим. ред.*

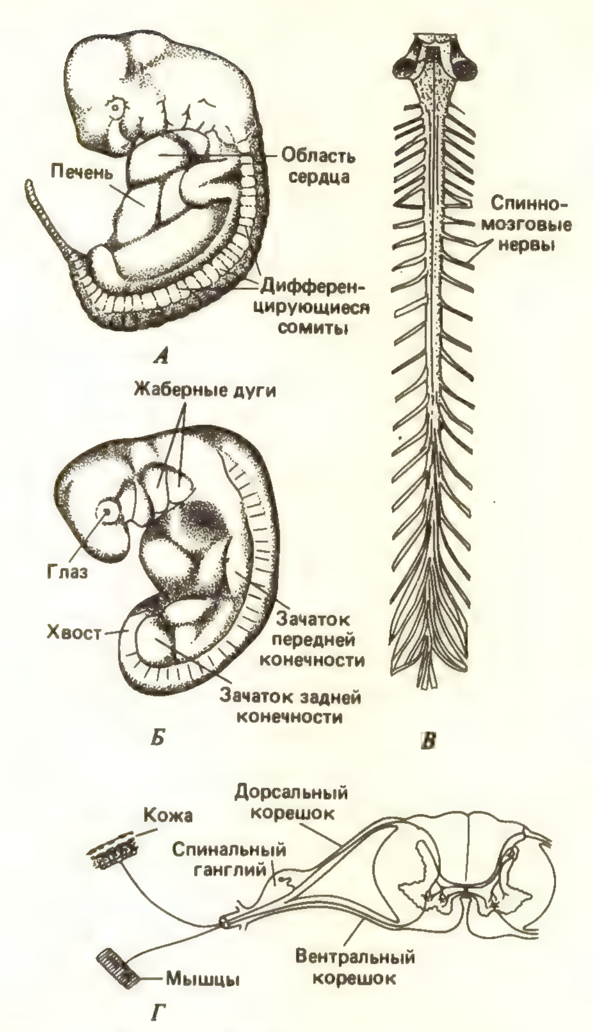
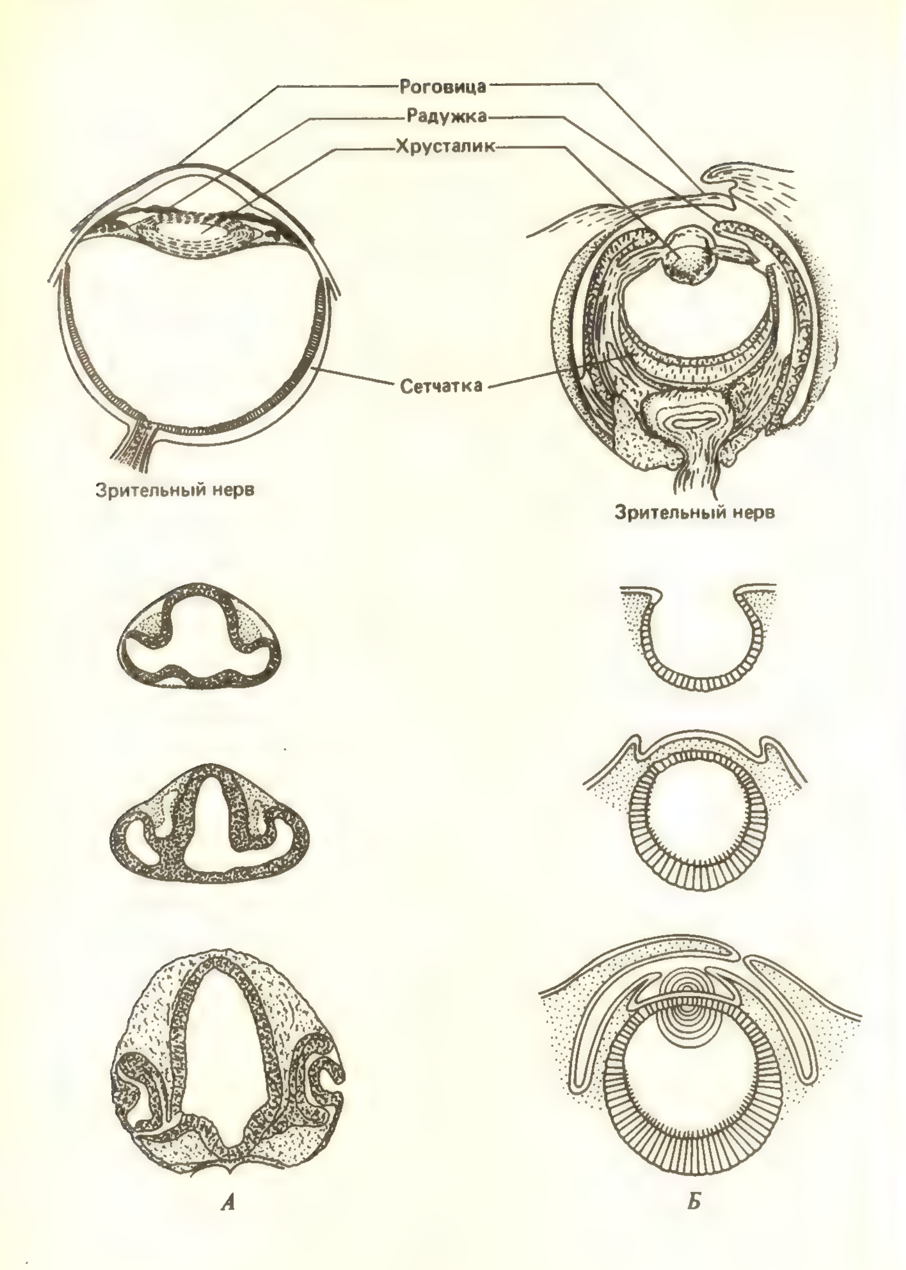


Рис. 21-7. Сегментация у позвоночных. Ранние стадии эмбрионального развития свиньи (*А*) и человека (*Б*); на этом этапе они почти неразличимы. Сомиты, из которых образуются мышцы, отчетливо сегментированы. *В.* Из спинного мозга вырастают спинномозговые нервы, по одной паре на каждый сегмент. *Г.* Спинномозговой нерв имеет два компонента: дорсальный, несущий сенсорные сигналы от тела (в основном от кожи), и вентральный, проводящий сигналы к мышцам.


Роговица
Радужка
Хрусталик
Сетчатка
Зрительный нерв
Зрительный нерв
А
Б

таким как слюнные железы, сердце, желудок, кишечник, печень, почки, мочевой пузырь и половые органы. Это *автономная* (или *вегетативная*) система, особенно хорошо развитая у млекопитающих. Через эту автономную систему мозг оказывает на организм различные воздействия, в основном регулируя "чисто физиологические" функции, например кровяное давление. Внутренние органы имеют двойную иннервацию: один нерв автономной системы стимулирует их активность, а другой — тормозит.

Деятельность этих органов непроизвольна, мы не можем воздействовать на них по своему желанию и вообще обычно не осознаем их существования. Однако состояние головного мозга, даже вполне осознаваемое, влияет через автономную систему и на внутренние органы; испуг, например, может отразиться на работе сердца.

Воздействие головного мозга на автономную нервную систему может привести к так называемым *психосоматическим* заболеваниям. Язву желудка, например, во многих случаях считают результатом определенного состояния психики, такого, как беспокойство или травмирующие переживания. Связь здесь может быть очень простой: беспокойство стимулирует клетки желудка, выделяющие кислоту, что в свою очередь ведет к развитию язвы. Бывают, однако, случаи, объяснить которые намного труднее.

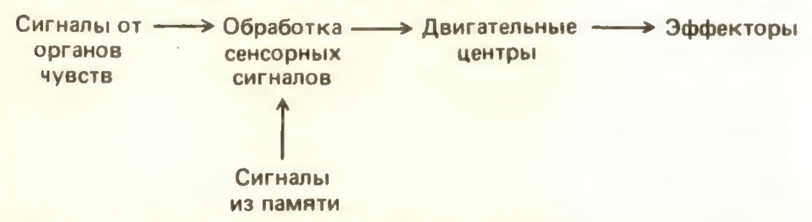
Существует врожденное заболевание, известное под названием ихтиоза. Все тело или отдельные его части покрываются ороговевшим слоем, что вызывает болезненные ощущения и может даже приводить к инвалидности. Хотя этот недуг обычно не поддается лечению, один английский врач попробовал применить гипноз. Чтобы быть уверенным, что любое улучшение — результат именно такого лечения, он заставлял пациента "желать" очищения вполне определенного участка тела, прежде чем перейти к другому участку. Метод удивительно хорошо сработал, и изучение отдаленных результатов спустя три года показало стойкое выздоровление. В это "чудо" было бы трудно поверить, если бы о нем не сообщалось в одном из самых авторитетных научных журналов — "Бритиш Медикал Джорнел" (A. A. Mason. British Medical Journal, 23 August 1952, **422**, 22 July 1955, p. 57).

Рис. 21-8. Образование и строение камерного глаза: *А* — у человека, *Б* — у осьминога. Свет проходит через роговицу, зрачок и хрусталик, который формирует изображение на сетчатке. Глаза очень сходны, но развиваются по-разному. У млекопитающих это часть мозга, у осьминога — складка поверхностного слоя тела, которая затем образует нервные связи с мозгом.

Хотя случаи подобного "чудесного" исцеления обычно невоспроизводимы, они достаточно реальны, и рассказы о них издавна входили в "рекламный ассортимент" некоторых святынь, а в последнее время получили даже медицинское подтверждение в ряде таких мест, как Лурд. Очевидно, что они не связаны с каким-либо определенным вероисповеданием. Чем удивительнее исцеление, однако, тем реже оно случается. Но каковы бы ни были механизмы исцеления, сама его возможность свидетельствует о глубоком воздействии нервной системы на функции тела.

Функции головного мозга

Основная функция мозга состоит в координации деятельности одной части тела с другими и с окружающей средой. Эти взаимоотношения можно представить такой схемой:



Хотя в деталях строение мозга очень сложно, большая часть его состоит из компонентов, соответствующих этим функциям. Можно выделить:

а) сенсорные пути и системы, по которым информация поступает от органов чувств и перерабатывается в удобную для использования форму;

б) двигательные центры, получающие переработанную информацию и на ее основе отдающие приказы эффекторам, т. е. тем органам, которые что-то делают. Большинство эффекторов — мышцы, отсюда и название "двигательные центры". Но есть и другие эффекторы, например эндокринные железы или светящиеся органы, действие которых тоже контролируется двигательными центрами;

в) "молчащие", или ассоциативные, зоны, занятые более сложной переработкой сигналов, в том числе такими высшими функциями, как память, научение и мышление. "Молчащими зонами" их называют потому, что их раздражение не вызывает двигательной активности, но может привести к зрительным или слуховым ощущениям.

Процессы обработки сенсорной информации и высшие психические функции будут рассмотрены в последующих главах. Здесь же мы коснемся в основном двигательных центров.

Двигательные центры

Двигательный центр — это комплекс нейронов (ганглий), получающий сигналы от органов чувств, от других частей мозга, а также от других двигательных центров и решающий, требуется ли в данный момент активация определенных мышц и т. п. Если ответ будет утвердительным, отдается соответствующий приказ.

У позвоночных подобного рода двигательные центры расположены в так называемой двигательной коре. У человека каждая мышца, по-видимому, имеет свой собственный двигательный центр, расположенный в удлиненной треугольной области, организованной в виде приблизительного отображения (проекции) всего тела (рис. 21-6, *А*). Центры, контролирующие мышцы больших пальцев ног, находятся в одном конце этой области, в ее верхней части, а управляющие мышцами головы — в другом, нижнем конце.

Произвольные и непроизвольные движения

Двигательные центры были локализованы путем электростимуляции участков двигательной коры у оперируемых больных и регистрации происходящих при этом мышечных сокращений. Таким больным, находившимся только под местной анестезией, подобные сокращения казались непроизвольными, вроде коленного рефлекса.

Но путем локальной стимуляции других областей мозга можно вызвать такие сокращения мышц, которые приводят к движениям, считающимся "произвольными", и это представляет определенный философский интерес. Так, очень слабый электрический стимул, воздействующий на определенный участок мозга, может заставить испытуемого поднять руку. Для экспериментатора это движение будет казаться вынужденным, однако испытуемый будет настаивать, что оно было полностью произвольным: он "захотел" и поднял руку. Очевидно, активность в подвергшейся раздражению области интерпретируется как "принятие решения". Значит, каковы бы ни были философские и теологические суждения относительно свободы воли (и, следовательно, моральной и всякой другой ответственности), их невозможно поддерживать на том лишь основании, что наше "ощущение свободы" якобы доказывает



Рис. 21-9. Богомол — хищное насекомое.

наличие свободной воли. Наша воля, может быть, и свободна (что бы под этим ни подразумевалось), но в защиту этого положения нам следует выдвигать более веские аргументы.

Координация двигательных центров

Работа двигательных центров не может сводиться к простому принципу "один входной сигнал — одно мышечное сокращение", так как сокращения различных мышц должны быть согласованными. Для этого выходные сигналы от различных двигательных центров поступают не только к мышцам, но и к другим двигательным центрам. Приказы о сокращении отдаются не просто отдельным мышцам, а группам мышц, причем в определенной последовательности, в результате чего осуществляется сложная серия реакций, составляющих некую форму поведения.

Хороший пример такого рода поведения демонстрируют насекомые богомолы, являющиеся, несмотря на свою смиренную позу, необычайно свирепыми животными, в особенности самки (рис. 21-9). В нервной цепочке самца имеется нейронная сеть, необходимая для последовательного осуществления ряда движений при спаривании, причем ее активность тормозится мозговым центром. После обезглавливания животного торможение устраняется, и это ведет к запуску всей серии копуляторных движений. Это случается не так уж редко: во время копуляции самка, обладающая бо́льшими размерами и силой, может откусить и съесть голову самца. Это нисколько не мешает спариванию, а даже, напротив, способствует ему. Для самца потеря тоже невелика, так как после спаривания он в любом случае будет съеден самкой.

В качестве более знакомого примера упорядоченного поведения можно привести ходьбу человека, которая представляет со-

бой очень сложный вид активности. Она требует сокращения одних мышц и расслабления других в определенной, но в деталях не слишком строгой последовательности. Возможность вариаций нужна потому, что нам приходится ходить не только по гладкому тротуару, а иной раз и по узкой доске, и по крутому, усыпанному камнями склону. Координацию мышечных сокращений и расслаблений осуществляет центральная нервная система, которая получает информацию от самих мышц, от рецепторов гравитации и от глаз, сообщающих о положении тела и состоянии поверхности под ногами. Если кто-либо усомнится в том, что для ходьбы необходима сложная деятельность нервной системы, достаточно будет посмотреть, как передвигаются люди с неврологическими расстройствами, будь то результат заболевания, травмы или инсульта. В наш технократический век есть и другая, лучшая возможность оценить всю сложность проблемы, например при попытках сконструировать механическую руку, действиями которой управляли бы сенсорные сигналы от самой этой руки. Хотя подобное устройство принесло бы неоценимую пользу в ситуациях, когда доступ к какому-то объекту затруднен или опасен для человека, никому еще не удалось создать удовлетворительный аналог человеческой руки.

Глава 22

Еще о работе головного мозга

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Среди важнейших функций мозга — способность к переработке сенсорных данных, способность к категоризации (и тем самым к формированию общих понятий) и память.

Самое сложное и тонкое из всех чувств — зрение. Вначале изображение проецируется на сетчатку глаза и воздействует на отдельные светочувствительные клетки сетчатки. В результате оно преобразуется из непрерывного в точечное, наподобие того, которое создается на телеэкране. Сама по себе, однако, эта точечная мозаика ничего не значит, если не проанализировать взаимоотношения между точками. Это делают специальные детекторы — нейроны, реагирующие лишь на строго определенные комбинации сигналов, которые соответствуют, например, изогнутому краю, прямой линии, какому-либо движению, цвету и т. п. Сигналы от этих детекторов в свою очередь передаются на другие уровни в глубине мозга. На каждом уровне сигналы вновь анализируются в поисках разного рода признаков, причем анализ становится все более абстрактным: вначале выявляются элементарные признаки, затем сочетания таких признаков и т. д. Окончательный анализ воссоздает ту видимую картину, которую мы осознаём.

Описанные детекторы частично бывают врожденными, а частично создаются в результате научения. Если детеныш животного (или ребенок) в некоторый критический период жизни будет лишен возможности видеть, то в дальнейшем он не сможет уже нормально перерабатывать зрительную информацию и останется по существу слепым.

Часто, если не всегда, сенсорные ощущения категоризуются и из непрерывных превращаются в прерывистые. Так, световой спектр, по сути непрерывный, разбивается на участки, которые мы воспринимаем как качественно разные цвета, разделенные границами. Эти границы, по-видимому, носят врожденный характер и определяются организацией нервных механизмов.

Мозг обладает памятью и способностью к научению. Физиче-

ской основой этого служат изменения эффективности синаптических связей между нейронами при повторной стимуляции. Однако система памяти мозга отличается от той, которой обладает компьютер: элементы информации извлекаются не с помощью постоянного адреса их хранения — адрес может варьировать в зависимости от "ассоциации идей". Кроме того, следы памяти в мозгу имеют не локализованный, а "распределенный" характер: единицы информации не хранятся в каких-либо отдельных ячейках, а представлены в виде некоторого состояния той или другой крупной системы. Поэтому при повреждении или разрушении отдельных участков мозга хранящиеся в памяти сведения обычно не утрачиваются вовсе, хотя их извлечение становится менее эффективным.

Двигательные центры мозга управляют движениями тела на основе сигналов, поступающих от других частей нервной системы, в особенности от различных органов чувств. Но прежде чем достигнуть двигательных центров, идущая от этих органов информация должна быть представлена в подходящей форме, что довольно сложно. Кроме того, мозг имеет дело не только с текущей входной информацией: у него есть еще свойство, именуемое *памятью*. В этой главе мы рассмотрим некоторые элементарные аспекты такой подготовительной обработки сигналов.

Глаз и мозг

В первом приближении наш глаз подобен телекамере: хрусталик (линза) проецирует все поле зрения на сетчатку (экран), где и формируется изображение (см. рис. 21-8). Сетчатка состоит из светочувствительных клеток — *палочек* и *колбочек*, которые начинают посылать сигналы, когда на них падает свет. Таким способом изображение вначале передается в виде точечного "узора", где каждая точка соответствует реакции отдельной светочувствительной клетки. В дальнейшем возникают импульсы в нейронах, которые передаются по зрительному нерву в мозг. Там они прежде всего поступают в нервные узлы, называемые боковыми коленчатыми телами, а затем в заднюю, затылочную часть мозга (рис. 22-1).

О том, что сигналы идут от сетчатки именно этим путем, мы знаем отчасти от анатомов, изучивших ход нервных волокон в мозгу, а отчасти — благодаря физиологическим методам, позволяющим вводить в мозг тончайшие электроды. С помощью таких электродов можно регистрировать потенциалы действия отдельных нейронов. Введя электрод в какой-нибудь участок мозга, мы

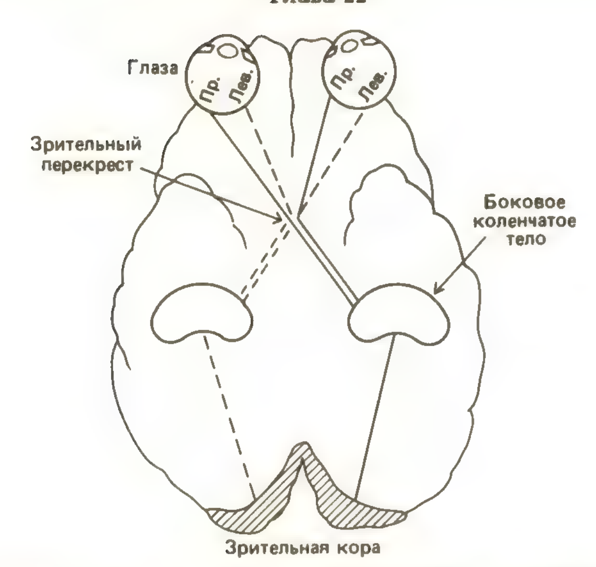


Рис. 22-1. Путь сигналов от глаз к зрительной коре (мозг показан снизу). Сигналы от левой половины сетчатки того и другого глаза идут в левое полушарие, а от правой — в правое. Окончательная переработка сигналов происходит в зрительной коре, в задних (затылочных) долях каждого полушария.

можем затем освещать отдельные места сетчатки и смотреть, в каком случае в данной точке мозга будут возникать потенциалы действия. Таким способом можно постепенно картировать весь путь сигнала. Подобные эксперименты проводятся на различных животных, в частности на обезьянах. Мозговые ткани нечувствительны к боли, поэтому животные не страдают от опытов, но повторные эксперименты все же приводят в конце концов к некоторому повреждению мозга, так что на человеке этот метод не используется.

Переработка сигналов

Сказанное выше может навести на мысль, что и весь процесс зрения у животных напоминает действие телекамеры, определяющей яркость различных точек в изображении на экране и передающей эту информацию приемнику, который затем формирует такой же точечный узор на своем собственном экране. Но изображение — это не просто набор точек: оно приобретает смысл лишь при сопоставлении этих точек друг с другом. Чтобы увидеть изображение,

а не одни лишь точки, нужна переработка сигналов, позволяющая определить, как они между собой соотносятся.

В том, что мозг действительно перерабатывает видимую картину, можно убедиться, включив экран черно-белого телевизора. До включения в хорошо освещенной комнате телеэкран выглядит почти белым. Когда появляется изображение, некоторые части экрана добавляют еще и собственный свет и теперь кажутся уже по-настоящему белыми, тогда как другие, отражающие столько же света, что и раньше, выглядят теперь черными. Система "глаз — мозг" сравнивает яркость различных частей экрана и оценивает менее светлые участки как "черные", хотя они остаются столь же "белыми", как и до включения телевизора. Иначе говоря, важны соотношения между точками, а не их абсолютная светлота.

Эти различные соотношения между точками видимой картины определяются с помощью специфических нейронов-детекторов, выявляющих детали того или иного типа. Чтобы показать их действие на конкретном примере, введем микроэлектрод в какую-то точку зрительного нерва животного. Нейрон, активность которого мы будем регистрировать, будет откликаться на свет в определенной части сетчатки — в так называемом *рецептивном поле* данного нейрона. Спроецируем на это рецептивное поле изображение искривленного края. Мы можем обнаружить, что нейрон реагирует, но лишь тогда, когда раздражителем служит искривленный край, и никак не откликается, если край прямой. Значит, этот нейрон действует как детектор изогнутых краев. Подобный эксперимент с обезьяной показал, что у нее есть нейроны, отвечающие только на стимуляцию горизонтальной полоской, наклонные же полоски не дают никакого эффекта (рис. 22-2). Существует множество других детекторов, распознающих, например, что в какой-то части поля зрения имеется прямой край, что он расположен вертикально, что он движется, что свет ослабевает и т. д. и т. п.

Значительная часть анализа, необходимого для распознавания простых элементов видимой картины, осуществляется в самой сетчатке. По мере того как сигналы поступают все дальше в мозг, они достигают слоев, где выявляются более сложные детали. Иными словами, на каждом последующем этапе распознавание носит все более абстрактный характер. В конечном итоге они объединяются в очень сложный комплекс — в восприятие всей сцены, на которую мы смотрим.

Можно сказать и так, что в мозгу изображение определенным способом кодируется. Если "кто-то там внутри" воспринимает изображение, то он видит не первоначальную сцену, отображенную на сетчатке, а ее закодированный образ.

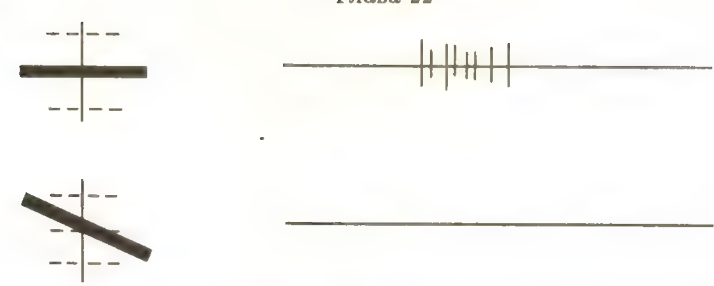


Рис. 22-2. Нейрон, входящий в систему детекторов горизонтальных полосок, не возбуждается, если предъявленная полоска слегка наклонена.

При мозговых нарушениях, затрагивающих определенные типы детекторов на обеих сторонах мозга, больной не может, например, воспринимать цвет или движение. Если же информация поступает в другое, не предназначенное для нее место, могут возникать зрительные иллюзии. Так, информация о глубине может поступить к детекторам движения, возбуждая их и создавая иллюзию движения: хотя объект неподвижен, мы видим, как что-то перемещается.

Как детекторы распознают определенные элементы изображения?

Приведем в качестве примера процесс распознавания цвета. Светочувствительные клетки сетчатки — это палочки и колбочки (рис. 22-3, *А*). Палочки не входят в систему цветового зрения, но зато они очень чувствительны и используются при слабом освещении. Поэтому, как мы знаем, в сумерках все кажется серым. Цвета распознаются ***колбочками***, которым для реагирования нужно больше света.

Колбочки бывают трех типов: наиболее чувствительные к синему, к желтому и к красному[1]. Они, однако, до некоторой степени чувствительны ко всему спектру (рис. 22-3, *В*). Если бы ощущение красного цвета зависело только от сигналов, посылаемых специальными "красными" колбочками, мы видели бы красный цвет в любой части спектра, хотя и разной интенсивности. Чтобы избежать этого, нейроны, служащие детекторами красного цвета, получают сигналы от колбочек всех типов, но сигналы от "красных"

---

[1]Для краткости их можно называть просто "синими" и т. д., имея в виду не их собственный цвет, а тот, на который они преимущественно реагируют. — *Прим. ред.*

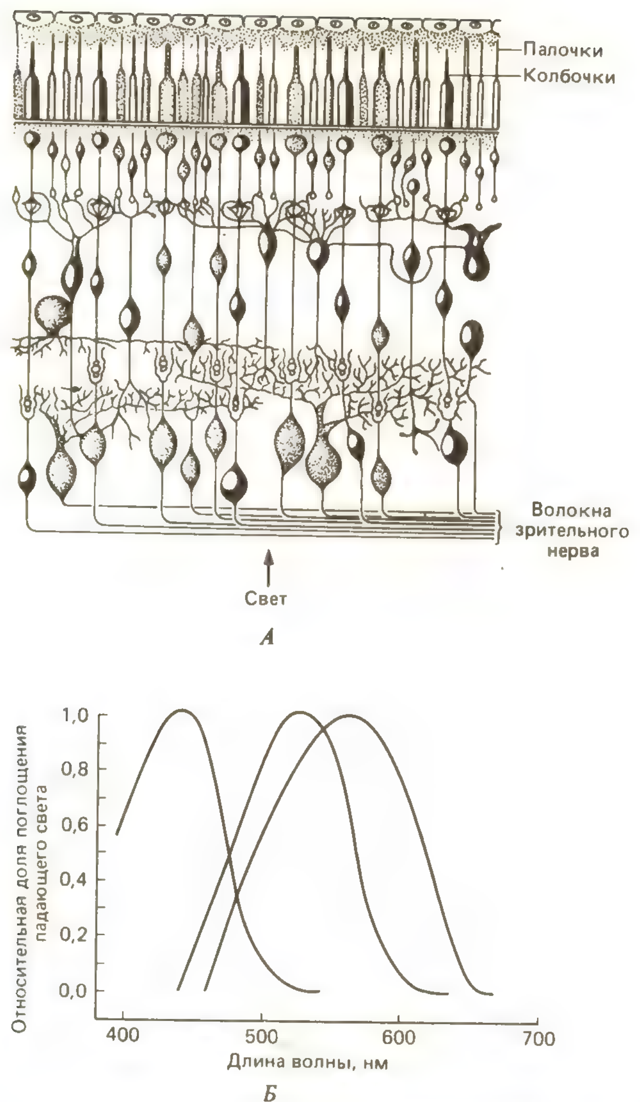
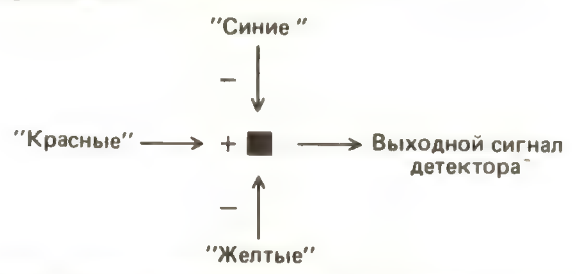


Рис. 22-3. Схематический разрез сетчатки человеческого глаза (*А*). Светочувствительный слой состоит из клеток, называемых палочками и колбочками, в которых под воздействием света возникают нервные сигналы. Нейроны, расположенные в других слоях, перерабатывают эти сигналы. Заметьте, что сетчатка как бы "опрокинута": свет проходит через слои других клеток, прежде чем достигает палочек и колбочек. Существуют колбочки трех типов: чувствительные к синему, к зеленому и к красному цвету, как показывают кривые на графике внизу (*Б*).

колбочек оказывают возбуждающее действие, а от “синих” и “желтых” — тормозящее:



(Фактически детектор красного цвета вычитает сигналы от “желтых” и “синих” колбочек, реагируя в основном на красный компонент.)

Или, положим, нужно распознать горизонтальную линию. Взяв небольшую часть зрительного поля, мы можем изобразить ее связи с детекторами A_1, A_2... следующим образом:

0 0 0 0 0 0 0	A_1
0 0 0 0 0 0 0	A_2
0 0 0 0 0 0 0	A_3
X X X X X X X	A_4
0 0 0 0 0 0 0	A_5
0 0 0 0 0 0 0	A_6
0 0 0 0 0 0 0	A_7

Все рецепторные клетки одного ряда соединены с одним нейроном-детектором. Если все клетки какого-то ряда (XX...) стимулируются одновременно изображением горизонтальной линии, то все они сразу будут возбуждать один из детекторов (в данном случае A_4). Но если линия вертикальная, только одна клетка в каждом ряду будет реагировать на нее и до каждого из детекторов дойдет только по одному сигналу. Этого будет недостаточно для возбуждения детекторов. Таким образом, эти детекторы смогут реагировать только на горизонтальные линии, но не на вертикальные (или наклонные).

Приведенный пример дает представление о том, как могли бы функционировать детекторы формы. В принципе возможны и иные схемы, приводящие к аналогичным результатам, и мы обычно не знаем, какая из них используется в том или ином случае. Однако здесь, как и в случае распознавания цвета, важно то, что независимо от деталей детектор определяет, существуют ли определенные отношения между элементами картины.

Различные способы ви́дения

Несомненно, то, что видит данный организм, зависит отчасти от того, какими детекторами для выделения различных элементов он располагает. Эти детекторы выявляют определенные соотношения между сигналами, а поскольку многообразие возможных взаимоотношений в пределах одного и того же набора сигналов по существу безгранично, а priori не может быть одного единственного способа ви́дения. Как уже говорилось в гл. 19 (см. рис. 19-3), переработка зрительной информации у пчелы и человека происходит различно. Фигуры, которые нам кажутся совсем разными и легко различимыми, на взгляд пчелы сходны. Для нее важнейшую роль в распознавании конфигураций играет не общая форма предмета, а частота мельканий, возникающих при движении в поле зрения. Зрительная система пчелы пользуется иными критериями при переработке сигналов от глаз, нежели наша. Поэтому, хотя "реальный мир" может быть один и тот же, представление о нем зависит от того, каким образом обрабатываются в мозгу сигналы, идущие от органов чувств.

От всех рецепторов — зрительных, слуховых, обонятельных, вкусовых или осязательных — в мозг поступают сигналы одинакового типа в форме нервных импульсов. Поэтому детекторные устройства, более или менее сходные между собой, действуют не только в зрительной, но и в других сенсорных системах. Имеются, например, детекторы для распознавания звуков человеческой речи или птичьего пения.

Проблема интерпретации

Мозгу, однако, недостаточно только обнаружить какие-то элементы входного сенсорного материала: он должен еще интерпретировать их. Получив сенсорную информацию, мы стараемся построить некий образ, наиболее совместимый как с этой информацией, так и с нашими ожиданиями. Входная информация что-то подсказывает или намекает, а мы догадываемся, о чем она намекает, и надеемся, что мы угадали верно. Приведем несколько примеров.

А. На рис. 22-4, *А* изображен "куб Неккера". Фактически это не куб, а линии на плоской поверхности, но эти линии напоминают куб, и мы начинаем его видеть. А так как видимая фигура одинаково соответствует двум кубам, расположенным по разному, при долгом взгляде мы видим поочередно то один из них, то другой.

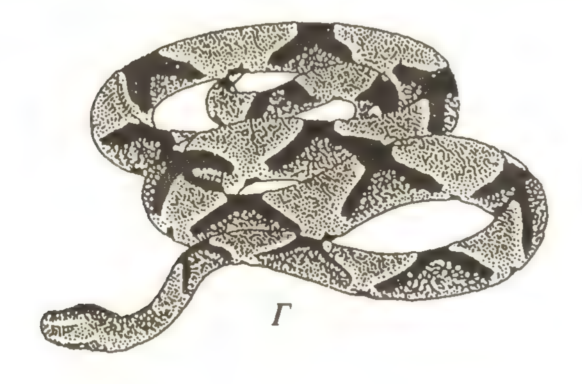
Б. Рис. 22-4, *В* содержит "скрытую" фигуру: вначале вы видите одно, но потом можете заметить, что здесь есть и нечто другое.

А

Б



В



Г

На этом принципе основаны камуфляж и обманы зрения. Если вы что-то видите или слышите, но принимаете за нечто иное, это называется иллюзией. Можно, однако, получать якобы "сенсорную" информацию изнутри самого мозга и на этой основе строить некий образ, и это уже будет галлюцинацией. Самый поразительный пример таких построений — это, пожалуй, хорошо различимое привидение.

О привидениях сообщают около 10% людей — правда, большинство из них видят их всего лишь раз или два в жизни, но некоторые и по нескольку раз. Это не связано с восприятием каких-либо зрительных сигналов или физических предметов, как о том свидетельствует проводившаяся фотосъемка; следовательно, речь идет о галлюцинации.

Привидения, как и все галлюцинации, — это продукты деятельности самого мозга, играющего здесь роль "режиссера". Такой режиссер обладает необычайной творческой силой и в особо удачных случаях воспроизводит множество "реалистичных" деталей. Например, привидение, подобно реальному объекту, заслоняет собою то, что находится позади. Его можно увидеть впрямую, а можно — совершенно правильно отраженным в зеркале. Оно демонстрирует эффект параллакса: при движении наблюдателя и привидение вполне естественным образом перемещается в поле зрения относительно других предметов. При уменьшении освещенности тускнеет и привидение, а если оно проходит перед источником света, то отбрасывает тень. В подобных "удачных" случаях создается полное впечатление реального объекта.

Конечно, во многих случаях "режиссер" не утруждает себя заботой о достижении такого совершенства. Весьма часто встречаются прозрачные привидения, не полностью скрывающие то, что находится позади них. Кроме того, в их восприятии участвуют не все органы чувств. Призраки обычно совершенно безмолвны, и известно, что схватить их или дотронуться до них невозможно.

Рис. 22-4. То, что мы видим, зависит от интерпретации, т. е. от переработки зрительных сигналов, и при этом могут возникать иллюзии. *А*. Куб Неккера. Все его линии лежат в одной плоскости, но изображение интерпретируется как куб. Глядя на рисунок в течение некоторого времени, можно поочередно видеть два разных куба. *Б*. Здесь изображены две горизонтальные линии одинаковой длины, но они кажутся разными из-за различного положения наклонных линий. *В*. Мы видим здесь листья, лежащие на земле, и лишь с трудом можем различить среди них змею. *Г*. Змея отлично видна на белом фоне.

Забавно, однако, что привидение может двигаться так, чтобы избежать контакта, если наблюдатель слишком приблизится к нему.

Вероятно, в качестве "режиссера" выступают те же конструктивные способности мозга, которые действуют и при обычном зрении; поэтому легко представить себе, сколь многое привносит мозг и в повседневные наши восприятия.

К сожалению, дальнейшее изучение этого предмета стало затруднительным, так как привидения, увы, уже не те, что были прежде: мода на них прошла. Такое нередко случается. "Истерическая слепота", не имеющая никакой видимой физической основы, некогда была обычным делом, особенно у молодых женщин, и ее постоянно демонстрировали в парижской психиатрической больнице Сальпетриер, где провел часть своего ученичества Зигмунд Фрейд. Ныне подобное состояние — редкость. В XIX веке привидения встречались в изобилии, а теперь они тоже довольно редки. Сходным образом, жители древней Греции частенько видели сельского бога Пана, но и он вышел из моды. Однако без "режиссера", которому обязаны своим возникновением Пан и его коллеги, мы не могли бы видеть не только этих диковинных творений, но и окружающий нас мир.

Умению видеть надо учиться

Как и многое другое, работа детекторов, распознающих элементы изображения на сетчатке, определяется отчасти генами, а отчасти научением. Умение видеть — результат образования или укрепления нервных связей, которое происходит лишь при воздействии на сетчатку структурированных раздражителей. Если котят или обезьян от рождения содержать в темноте или у ребенка с врожденными катарактами обоих глаз их вовремя не удалить, то возможность нормального зрения в дальнейшем утрачивается даже в обычных условиях или в случае позднего удаления катаракты. Глаза будут реагировать на свет, но мозг не сможет анализировать посылаемые ими сигналы, а значит — различать предметы и ориентироваться с помощью зрения.

Животные учатся видеть в определенный "критический" период жизни. У млекопитающих это первые месяцы или годы. После окончания этого периода научиться видеть невозможно.

Категоризация воспринимаемого

Платон был первым философом, заинтересовавшимся эпистемологией, или теорией познания. Знание, как он прекрасно понимал, возможно лишь тогда, когда мы способны формировать общие

идеи, т. е. понятия. Но поскольку мы непосредственно воспринимаем только единичные предметы, такие, как “эта кошка”, возникает вопрос: как мы приходим к обобщенному понятию “кошка”?

Платон пытался объяснить нашу способность к формированию общих понятий с помощью своей теории “идей” или “форм”. Он полагал, что мы живем не один раз и что в своем предыдущем существовании мы обитали в сверхчувственной сфере, населенной также общими понятиями, или “идеями”, например такими, как “идеальная кошка”. Мы рождаемся, помня об этих идеальных формах, и поэтому можем вырабатывать общие понятия, устанавливая сходство предмета, который мы видим, с его “идеей”, знакомой нам по предшествующей жизни. Теория форм Платона содержит неправдоподобные утверждения и логические ошибки, подмеченные уже Аристотелем, однако проблема происхождения общих понятий до сих пор сохраняет свое значение и продолжает волновать философов и логиков. И хотя проблема остается, способность нервной системы к *категоризации* может пролить на нее некоторый свет.

Перерабатывая поступающую сенсорную информацию, нервная система разделяет ее на ряд обособленных категорий, между которыми существуют довольно четкие границы. Цвет может быть красным или зеленым, но не красновато-зеленым; между звуками “л” и “п” не бывает чего-то промежуточного. С другой же стороны, несколько различные, но качественно сходные сенсорные сигналы могут попадать в одну и ту же категорию. Таким образом, эти категории можно уподобить общим понятиям и, следовательно, “идеям”, или “формам”, Платона.

Мы распознаем категории, если между ними имеется граница. В качестве одного крайнего и простого примера возьмем полоску бумаги, часть которой черная, а часть белая (рис. 22-5). Чтобы показать, что между черной и белой зонами существует резкая граница, возьмем две точки вдоль оси и закроем остальной рисунок. Мы можем затем спросить испытуемого (им может быть и животное!), одинакова ли светлота в обеих точках. Если обе точки находятся целиком в пределах темной или светлой зоны, испытуемый не сможет сказать, какая из них светлее или темнее. Начнем теперь сдвигать точки, и когда они окажутся по обе стороны границы, испытуемый сможет очень легко вынести верное суждение, что одна точка темнее другой. Таким способом можно выявить границу. Если она резкая, минимальное расстояние между различимыми точками будет небольшим, тогда как при размытой границе это расстояние увеличивается.

Теперь попробуем применить эту операциональную (рабочую)

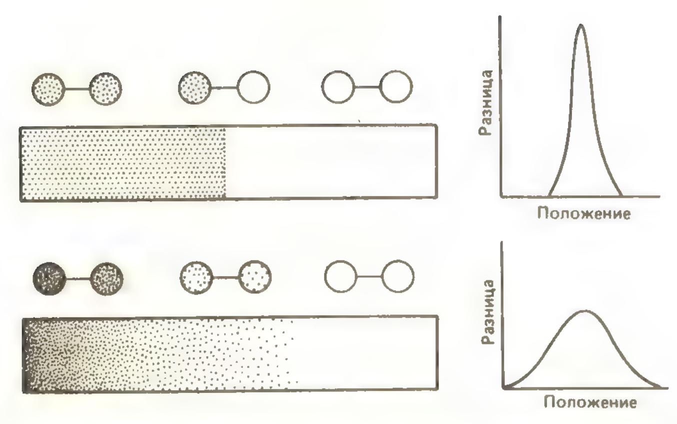


Рис. 22-5. Определение границы между светлой и темной зонами. Ширма с двумя отверстиями, расположенными близко друг к другу, движется от светлой зоны к темной. В темной зоне оба отверстия остаются темными, но на границе, причем довольно резко, одно из них делается светлым. Далее столь же резко, после того как граница пройдена, оба отверстия становятся светлыми. Если граница размыта, различие между отверстиями уменьшается постепенно. Этот метод позволяет оценить резкость пограничной линии.

концепцию границы к категории цвета. Спроецировав на экран пучок белого света, разложенного на его компоненты, т. е. получив спектр, мы увидим, что в интервале длин волн от 0,72 до 0,65 мкм располагается красный свет, от 0,65 до 0,58 мкм — желтый, от 0,58 до 0,49 мкм — зеленый и менее 0,49 мкм — синий. Мы называем эти категории цветами. Но это психологические, а не физические категории. С точки зрения физики спектр представляет собой непрерывную шкалу длин волн, и мы могли бы с равным успехом установить совершенно иные границы — решить, например, что будем называть свет в интервале от 0,70 до 0,50 мкм одним цветом, от 0,50 до 0,40 мкм — другим и т. д.

Чтобы проверить, не являются ли наши красный, желтый, зеленый и синий цвета просто произвольно выделенными участками спектра, спроецируем на экран два пятна света с различной длиной волны и спросим испытуемых, одного они цвета или разного. Оказывается, когда оба пятна находятся в пределах того, что мы именуем одним цветом, например зеленым, для их восприятия как окрашенных в разные цвета различия в длине волны должны быть намного большими, чем если они находятся на границе синей и зеленой частей спектра. В последнем случае пятна воспринимают-

ся как разноокрашенные, будучи намного ближе друг к другу по длине волны. Очевидно, с точки зрения нервной системы граница между зеленым и синим действительно существует и эти два цвета относятся к разным категориям — это не просто произвольные подразделения спектра.

Врожденны ли эти цветовые категории, или же для их восприятия требуется обучение? Американский лингвист Уорф высказал предположение, что наша категоризация окружающего мира зависит от того, какие слова имеются в нашем языке. В одних языках, например, есть отдельные слова для зеленого и синего цветов, а в других эти цвета называют одинаково. Значит, согласно Уорфу, для людей, говорящих на одном языке, синий и зеленый составляют одну цветовую категорию, а для говорящих на другом языке — две. Однако эксперименты по выделению цветовых границ в спектре показали, что независимо от языка эти границы проходят в одних и тех же местах. Более того, оказалось, что и для животных, не владеющих языком, существуют четкие границы между цветами. Следовательно, категории цвета являются врожденными.

Категоризация происходит в различных сенсорных системах и, как мы увидим позже, имеет большое значение для распознавания звуков человеческой речи.

Память

Природа памяти — одна из важнейших проблем биологии, с ней же тесно связана и проблема научения. Хотя существуют организмы, подобные растениям или медузам, которые ничего не помнят и не способны обучаться, жизнь, которую ведем мы и большинство других животных, невозможна без этих способностей.

Ассоциация

Важный аспект памяти и научения — это "ассоциации": по своей сути научение есть создание ассоциаций. Например, при выработке павловского условного рефлекса собака слышит звук звонка и вскоре после этого получает пищу; она быстро учится связывать оба явления друг с другом и начинает выделять слюну на один только звонок (так же будет и у нас самих!).

Однозначность ассоциаций — одно из наиболее заметных отличий памяти компьютера от соответствующей способности мозга. В компьютере каждая хранящаяся в памяти единица имеет свой

адрес, который нужно знать для ее извлечения. Биологическая память тоже использует адреса, но они варьируют в зависимости от ассоциации мыслей, меняющихся у разных людей и в разное время. Возьмем слово "лев". Оно может придти в голову при слове "зоопарк", но также и в результате многих других ассоциаций, например при слове "Кения", "Даниил" (который жил в пещере со львами), "христиане" (которых бросали на съедение львам) и т. п.

Энграмма и ее местонахождение

Для того чтобы удалось что-то запомнить или чему-то научиться, очевидно, что в мозгу должны произойти какие-то изменения. Такие изменения, или следы, каковы бы они ни были, называются *энграммами*. Американский психолог К. С. Лэшли, как и многие другие, потратил немало времени, пытаясь найти, где в мозгу находятся энграммы. Чтобы выяснить это, Лэшли удалял у крыс небольшие участки коры мозга, а затем наблюдал, произошла ли утрата каких-либо специфических элементов содержимого памяти. Как это ни удивительно, подобных легко "вырезаемых" энграмм обнаружено не было. Резюмируя итоги своих исследований, Лэшли с иронией заметил, что они доказывают невозможность запоминания и научения.

И все же энграмма должна находиться в коре: в то время как удаление небольшого участка коры, по-видимому, безразлично для памяти, разрушение более крупных областей на ней уже сказывалось. При этом утраты каких-либо отдельных следов памяти не происходило, но все они становились менее эффективными. Очевидно, каждый элемент запоминаемого хранится не в каком-то одном месте, а в обширной нейронной сети, где он и продолжает сохраняться, хотя и менее надежно, после уменьшения ее общей массы. Мы говорим, что энграммы носят распределенный, нелокальный характер: каждая из них как бы "размазана" по нейронной сети в целом.

Кратковременная и долговременная память

Существуют по меньшей мере две формы памяти.

А. Кратковременная память, в которой следы появляются сразу же. Этот вид памяти, возможно, зависит от электрической активности нервных клеток мозга. Если активность прерывается, например при охлаждении или наркозе, следы исчезают. Кратковременную память можно представить себе в виде нервных им-

пульсов, циркулирующих по замкнутым путям и таким образом сохраняющихся короткое время, хотя это не единственно возможное и даже не самое вероятное объяснение.

Б. Спустя несколько минут следы переводятся из кратковременной памяти в отдел более длительного хранения; здесь информация уже не утрачивается после прекращения электрической активности нейронов. Она теперь закреплена в нервных связях и может храниться долго, иногда всю жизнь.

Эти два вида памяти — кратковременная и долговременная — имеются и у пчел, и у рыб, и у человека; это позволяет думать, что основы памяти (по крайней мере природа энграмм) у всех организмов сходны.

Природа энграмм

Известный канадский психолог Доналд Хебб первый предположил, что образование энграммы связано с изменением эффективности синапсов. Основная идея состояла в том, что если нейроны А и Б соединены синапсом и оба часто подвергаются одновременной стимуляции, то синапс между ними становится "сильнее", т. е. легче передает сигнал от одного нейрона к другому. Если синапс станет "достаточно сильным", стимуляция только одного нейрона вызовет разряд и в другом: между ними установится "ассоциативная связь". Этот принцип позволяет объяснить, почему активация каким-то стимулом нейрона А может "вызвать в памяти" нечто иное, представленное активностью нейрона Б.

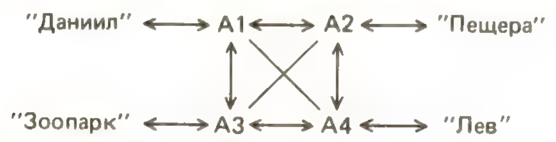
Теперь мы знаем, что именно так и происходит на самом деле, хотя, конечно, в каждом акте запоминания участвуют не два нейрона, а огромное множество их. Кроме того, описанная Хеббом ассоциация закрепляется лишь при особых обстоятельствах. В процессе обучения это происходит только при соответствующем "вознаграждении" или "наказании". Части мозга, так сказать, осознающие такого рода последствия, вырабатывают вещества, необходимые для усиления синаптических связей. Таким образом, для успешного запоминания и обучения нужны взаимодействия между различными частями мозга.

Природа нелокальных энграмм

На первый взгляд, память с нелокальными (распределенными) энграммами, позволяющая хранить отдельные воспоминания "всюду и нигде", кажется весьма загадочной. Однако сейчас, когда нам

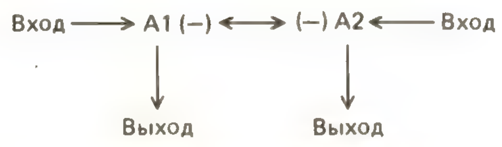
удалось построить подобные системы из электронных компонентов, она потеряла часть своей таинственности. Мы не можем описывать здесь детали строения таких систем, скажем только, что они основаны на взаимосвязанных схемах типа "флип-флоп".

Схема "флип-флоп" состоит из двух элементов, A_1 и A_2, каждый из которых получает сигнал на входе и преобразует его в выходной сигнал. Соединим теперь эти два элемента так, чтобы они оказывали друг на друга торомозящее воздействие:



Такая система имеет два стабильных состояния: $[+A_1, -A_2]$ и $[-A_1, +A_2]$. Если в начале элемент A_1 достаточно активен, он закрывает A_2 и не тормозится им; обратная картина наблюдается при достаточной активности A_2. Путем достаточно сильного стимулирования любого из двух элементов можно "выключить" выход другого.

Система из двух таких элементов не представляет особого интереса. Все, однако, меняется, если схемы "флип-флоп" соединены с множеством других, причем так, что входящие в них элементы могут оказывать друг на друга и стимулирующее, и тормозящее воздействие:



В этой системе, все еще очень небольшой, возможно несколько различных стабильных состояний, зависящих от входного сигнала и от типа соединений — стимулирующего или тормозящего. Например, при подаче внешнего сигнала на A_1 ("Даниил") система может перейти в стабильное состояние $[+A_4, -A_2, -A_3]$, означающее A_4 ("лев"). В биологической системе сила связей и выходных сигналов устанавливается и меняется под влиянием ассоциаций, созданных в результате прошлого опыта, как и предполагал Хебб.

Число возможных состояний быстро увеличивается по мере роста числа запоминаемых элементов, причем множество различных состояний всей системы могут давать один и тот же выходной сигнал. Это означает, что данный объект может быть представлен разными состояниями системы; и действительно, по мере накопле-

ния информации в памяти стабильные состояния, представляющие тот или иной объект, меняются.

Кроме того, крупные сети такого типа имеют много избыточных связей, так что значительная часть сети может быть удалена без существенного изменения информации на выходе. Теряется лишь малая доля информации, хотя по мере удаления многих связей система начинает испытывать трудности, например делает больше ошибок или не может так же легко извлекать информацию из памяти. В этом отношении результаты сходны с тем, что наблюдал Лэшли после удаления частей коры. Коротко говоря, для запоминания каждого элемента требуется очень большая сеть из многих миллионов нейронов, а так как система действует на основе статистических принципов, она выдерживает значительные повреждения.

Однако, несмотря на подобные черты сходства, такие сети не следует рассматривать как точные модели того, что происходит в мозгу. Они свидетельствуют лишь о том, что нелокальная память вроде той, какую Лэшли обнаружил у крысы, в принципе возможна.

"Фотографическая память"

Человеческая память способна на удивительные вещи. Можно нанести на лист бумаги узор из точек, который сам по себе кажется бессмысленным. Но два таких рисунка при стереоскопическом восприятии, когда одни элементы образуют задний план, а другие – ближний, могут создавать нечто значимое, например букву А. Встречаются люди, которые способны взглянуть на один из та-



Рис. 22-6. "Фотографическая память" — редко встречающееся свойство. Если показать ее обладателю первый ряд невразумительных фигур, а потом, значительно позже — второй ряд, то он по памяти объединит их и "увидит" значимые фигуры третьего ряда.

ких рисунков и в точности запомнить его, хотя для них, как и для всех остальных, он представляет собой лишь бессмысленный узор из точек. Спустя 24 часа при взгляде на другой рисунок они могут совместить его с первым, сохранившимся у них лишь в памяти, и тотчас распознать букву A. Аналогичный пример приведен на рис. 22-6. Мы не знаем, какое из свойств мозга ответственно за такое усиление обычных способностей, но подобные факты заставляют думать, что мы еще не достигли, и вряд ли когда-нибудь достигнем, пределов своих возможностей.

Литература

Tank D. W., Hopfield J. I. Collective Computation in Neuronlike Circuits, Scientific American.

Restak R. M. The Mind, Bantam Books, NY, 1988.

Глава 23

Диффузные и интегрированные особи

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Биологическую систему можно считать организмом лишь тогда, когда ее части обмениваются информацией, так что она способна реагировать как единое целое. Природа составляющих подсистем имеет меньшее значение. Многоклеточный организм состоит из клеток; организмы, подобные лишайникам, — из клеток двух различных видов; некоторые медузы — из частей, которые сами представляют собой многоклеточные организмы. Такая субъединица, как клетка, может сама по себе быть самостоятельным организмом, а также может участвовать в жизни другого организма.

Поскольку степень интеграции составных частей в единый организм зависит от скоординированности их функций, между свободной колонией и хорошо интегрированным организмом нет резкой границы. Это касается не только тела, но также и свойств "личности", определяемых нервной системой.

Рассмотрим "диффузную" особь на примере осьминога. Спинному мозгу позвоночных у осьминога соответствуют нервные тракты и ганглии, расположенные в его щупальцах, которые действуют полуавтономно. Связь между головным мозгом и нервной системой этих придатков ограниченна: мозг, например, не знает в деталях о положении щупалец и их присосок.

Головной мозг осьминога не имеет адекватного представления о своем собственном теле, поскольку оно лишено скелета. Животным, имеющим скелет, для определения конфигурации тела требуется знать лишь небольшой набор позиций, в которых находятся суставы. Тем, у кого скелет отсутствует, нужно было бы знать все о состоянии бесчисленных мышц; чтобы переработать эту информацию, головной мозг должен быть настолько большим, что вряд ли нашлось бы тело, способное выдержать его вес. Осьминог, возможно, представляет собой высшую ступень в развитии центральной нервной системы, которой смогли достигнуть мягкотелые беспозвоночные.

Частичное разделение целостной личности на две можно про-

демонстрировать на примере нашего собственного вида. Большая часть головного мозга у человека состоит из двух полушарий, во многом дублирующих друг друга. В норме они соединены массивным нервным трактом и образуют единое целое. Но если этот тракт перерезан, полушария начинают функционировать, по существу, автономно: они видят, слышат и перерабатывают информацию так, как если бы они принадлежали разным людям. Тем не менее больной по-прежнему субъективно ощущает себя целостной личностью — возможно, благодаря тому, что остатки коммуникации сохраняются: оба полушария получают информацию о состоянии одного и того же тела.

Индивидуум

Как свидетельствует словосочетание "я сам", личность, или "я", обычно представляется чем-то единственным. Однако граница между "собой" и "не-собой" слегка размыта. Мы считаем волосы и ногти своей частью и в то же время можем иногда обстригать и выбрасывать их.

В древние времена "я" было более широким понятием: в него входили имя человека, его тень, изображения, а часто и некоторые, если не все, из принадлежавших ему вещей. Узнав "настоящее", или "тайное", имя какого-либо человека, якобы можно было приобрести над ним определенную власть, а воткнув иголки в его изображение, которое рассматривалось как часть его самого, — убить его или нанести ущерб его здоровью. Этот способ до сих пор встречается в практике колдовства.

Что такое личность? В этом вопросе, на первый взгляд, есть два аспекта: телесный и "духовный". На самом деле оба они тесно взаимосвязаны, поскольку "дух" есть функция головного мозга, а мозг — часть тела. Однако поначалу удобнее рассмотреть их отдельно.

Концепция организма

В биологии организмом называют некую живую единицу. Наименьшая единица, которую еще можно счесть организмом, — это клетка; она способна осуществлять все характерные жизненные функции, включая и размножение. Многоклеточная особь состоит из клеток; следовательно, единица, обладающая собственной

жизнью, может участвовать в жизни еще одной, более крупной системы — многоклеточной особи.

Но для создания организма природа составляющих его единиц не имеет особенного значения. Некоторые медузы (сифонофоры) состоят из "субиндивидуумов", которых зоологи тоже называют особями. Это тоже медузы, видоизмененные и специализированные для выполнения различных функций. Их пищеварительные полости сообщаются между собой, и диффузная нервная сеть соединяет одну особь с другой. Ядовитая физалия и еще одна сифонофора — *Velella* — примеры организмов такого типа; к ним относится и *Staphalia*, изображенная на рис. 23-1. Одна из особей представляет собой большой "поплавок", во внутреннюю полость которого секретируется газ. Под ним находится кольцо "плавательных колоколов", передвигающих всю колонию в воде. Другие особи специализированы для схватывания и переваривания добычи. Питательные вещества распределяются между всеми особями через общую пищеварительную полость. Есть также члены колонии, производящие яйца и сперму, и особи с сенсорными функциями. И все они вместе образуют хорошо интегрированный организм.

Организм может даже состоять из частей, относящихся к разным видам. Лишайник построен из клеток двух видов — одноклеточных водорослей (иногда цианобактерий)[1] и грибов, растущих вместе и образующих организм, весьма отличный от того, что могли бы произвести те же виды по отдельности. На голом камне водоросли или цианобактерии путем фотосинтеза, а иногда и фиксации азота создают нужные грибу органические вещества. В свою очередь гриб обеспечивает прикрепление к субстрату, извлекает из него минеральные вещества, доставляет воду (иной раз конденсируя ее из влажного воздуха) и позволяет лишайнику выживать даже при высыхании. Водоросль и гриб вместе образуют необычайно жизнестойкое "растение". Путем механического воздействия и секреции кислот лишайники разрушают даже самые твердые скалы, и потому их рост часто бывает первым шагом в процессе почвообразования.

Организм создается благодаря взаимосвязям

Все эти примеры организмов имеют одну общую черту: существенную роль в них играют взаимосвязи, или обмен информацией между составными частями, так что их действия координируются

[1] Цианобактерии — современное название сине-зеленых водорослей: выяснилось, что их правильнее отнести к бактериям. — *Прим. ред.*

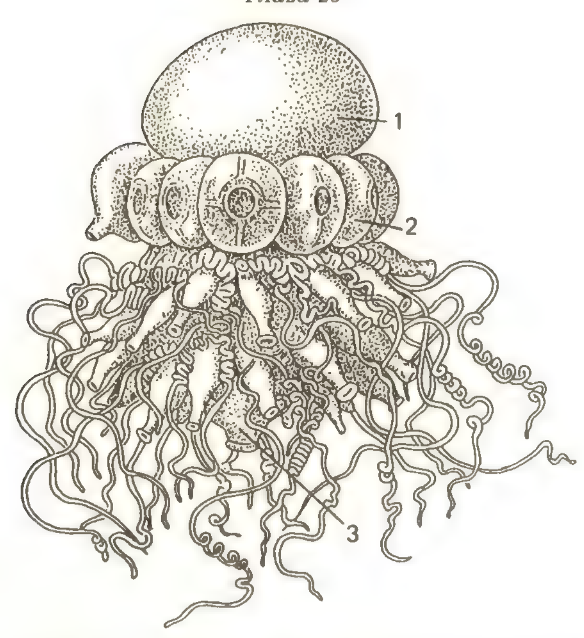


Рис. 23-1. Стафалия — кишечнополостное, напоминающее медузу и представляющее собой колонию особей, видоизмененных для выполнения различных функций. 1 — пневматофор (наполнен газом и удерживает колонию в вертикальном положении); 2 — "плавательные колокола"; 3 — питающий полип.

и система функционирует как единое целое. Кроме того, координация биологических систем такова, что их деятельность носит "целенаправленный" характер. Известен поразительный пример того, как не слишком тесно связанные части могут превращаться в органы при развитии коммуникации между ними; речь идет о мшанке *Cristatella*.

Мшанки — очень мелкие водные организмы; они сидят на месте и захватывают пищу щупальцами, которые снабжены ресничками и окружают рот (рис. 23-2, *А* и *Б*). Эти животные размножаются почкованием; вследствие сидячего образа жизни родители и "дети" остаются рядом, часто образуя инкрустации на скалах. Их пищеварительные системы могут сообщаться между собой, но в остальном взаимодействие невелико, и их можно рассматривать как самостоятельные организмы, образующие просто колонию особей, которым случилось жить рядом.

Особи *Cristatella*, однако, совместно производят мышечный

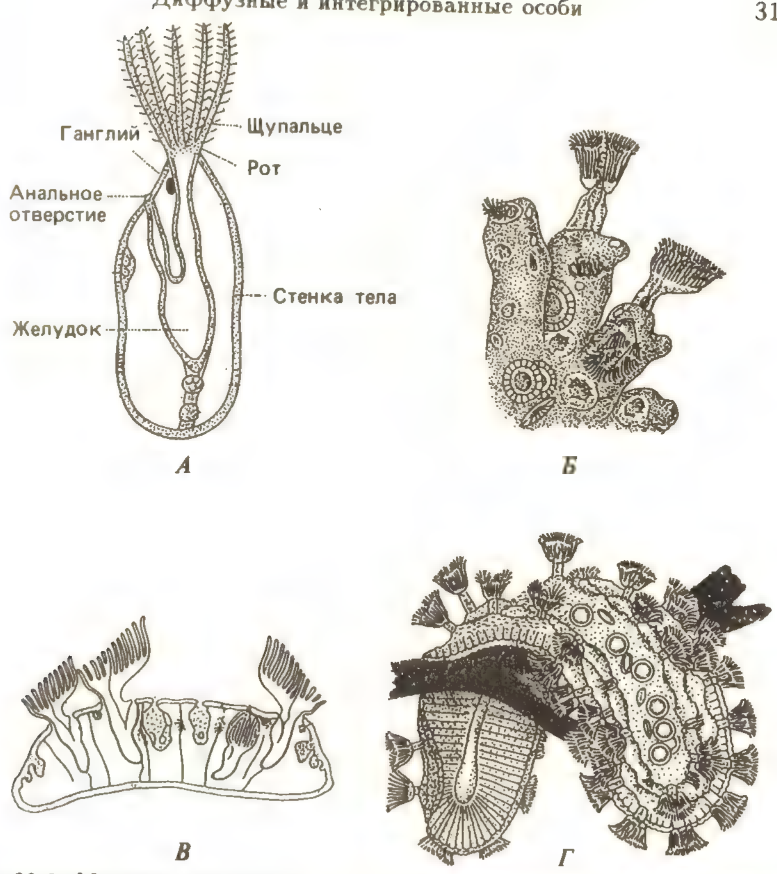


Рис. 23-2. Мшанки — мелкие сидячие водные животные с простым строением тела (*А*). Они живут вместе большими колониями (*Б*), образуя инкрустации на камнях и других предметах. Однако у одного вида группа особей окружает себя общим покровом; при этом их нервные системы соединяются, и развивается общий мышечный слой, как можно видеть на поперечном разрезе (*В*). Такой конгломерат становится теперь индивидуумом, который может ползать (*Г*) с помощью довольно согласованных движений, наподобие плоского червя.

слой, подстилающий всю колонию, а нервные системы отдельных животных объединяются в общую нервную сеть (рис. 23-2, *В* и *Г*). Теперь отдельной особью становится колония. Мышечный слой образует своего рода ногу наподобие ноги улитки. А так как существует общая нервная система, группа особей реагирует как еди-

ное целое: при раздражении в какой-либо точке она вся начинает двигаться. "Особи", или зооиды, образуют тем самым единый и довольно хорошо интегрированный организм.

Поскольку статус "организма" определяется взаимодействием частей, можно быть организмом в большей или меньшей степени: не существует строгих разграничительных линий между хорошо интегрированным индивидуумом, свободно организованной колонией и случайным скоплением особей. Изменяя степень взаимосвязи, можно получить два организма из одного или, наоборот, соединить два организма в один.

Если простой организм вроде губки, дождевого червя или небольшого кишечнополостного гидры разрезать пополам, каждая половинка может регенерировать в новый организм. А если одну гидру "привить" на другую, произойдет реорганизация двух индивидуумов в один.

Осьминог

То, что мы понимаем под "личностью", связано со степенью взаимодействия частей нервной системы. Если взаимодействия обширны и хорошо интегрированы, то личность, подобно хорошо интегрированному организму, представляет собой единое целое. Если же взаимодействия более ограниченны, личность становится диффузной. Более того, одна хорошо интегрированная личность может разделяться, образуя две. В качестве примера диффузной личности рассмотрим осьминога.

Моллюски

Головоногие, к классу которых принадлежат осьминоги, кальмары и каракатицы, относятся к моллюскам. Низшие моллюски, такие как хитоны, улитки и двустворчатые, занимают по отношению к "высшим" головоногим то же положение, что и низшие позвоночные, например миноги, сравнительно с высшими, такими как рептилии, птицы и млекопитающие. Это особенно хорошо видно по строению нервной системы. Мозг осьминога состоит приблизительно из 200 млн. нейронов, тогда как многие черви имеют всего лишь несколько сотен, и даже крабы и улитки — только сотню тысяч (или около того) нервных клеток, т. е. на несколько порядков меньше, чем у осьминога. Число нейронов в головном мозгу человека составляет около 20 млрд., что в 100 раз больше, чем у осьминога. И все же по числу нервных клеток в головном мозгу

осьминог стоит гораздо ближе к человеку, чем к родственной ему улитке.

Общее строение тела моллюсков на примере пресноводного двустворчатого моллюска, улитки и головоногого моллюска показано на рис. 23-3. У всех моллюсков тело не сегментировано и состоит из трех основных частей.

1. Нижняя, или вентральная, часть тела становится мышечной массой, так называемой ногой, сокращения которой используются для передвижения.

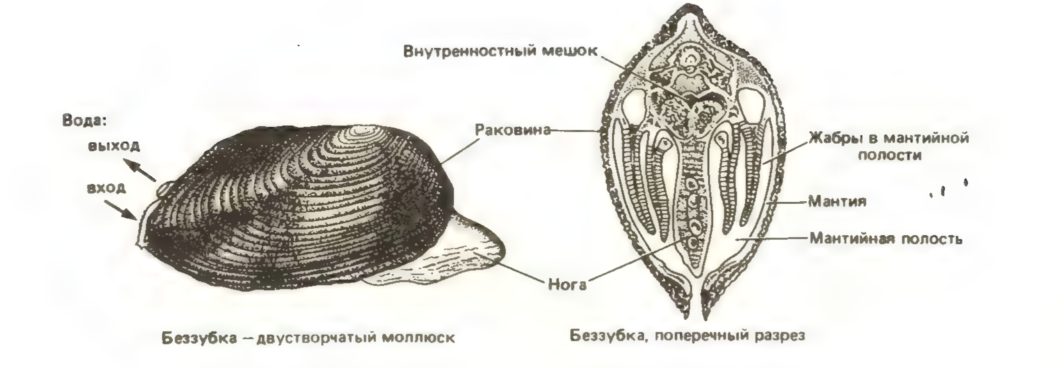
2. Из-за развития ноги внутренние органы оттесняются вверх, где образуют компактную висцеральную массу.

3. Для защиты висцеральной массы верхняя часть тела прикрыта довольно толстой кожной складкой, которая называется мантией и охватывает большую часть тела. Для более надежной защиты мантия обычно секретирует материал для построения раковины того или иного типа. У улиток раковина цельная, а у хитонов состоит из восьми пластинок, что обеспечивает телу некоторую гибкость. Раковина представляет собой наружный скелет, или экзоскелет. Внутренний скелет отсутствует, отсюда и название "моллюски" (от лат. mollis — мягкий).

Хотя головоногие не происходят непосредственно от брюхоногих (улиток), общий план их строения легче понять, если представить его как модификацию плана улитки. У головоногих нога, используемая улитками для ползания, распадается на ряд окружающих рот щупалец. На щупальцах имеются присоски, которые здесь используются в основном для захватывания добычи. Поскольку бывшая нога уже не выполняет локомоторной функции, ее в этом заменяет мантия, преобразованная в мышечный двигательный орган реактивного типа. При его расслаблении в мантийную полость поступает вода, а при сокращении она выталкивается в виде струи, и за счет отдачи животное движется в противоположном направлении. Так в отличие от многих других моллюсков головоногие стали плавающими животными. Осьминоги — активные хищники, они питаются в основном ракообразными, двустворчатыми моллюсками и рыбой; все они живут в море. Размеры их варьируют от немногих сантиметров до нескольких метров: встречаются подлинные гиганты весом в 1–2 тонны (рис. 23-4, 23-5).

Система хроматофоров

У большинства животных главными эффекторами служат мышцы, но у осьминогов и кальмаров имеется еще один важный эффек-



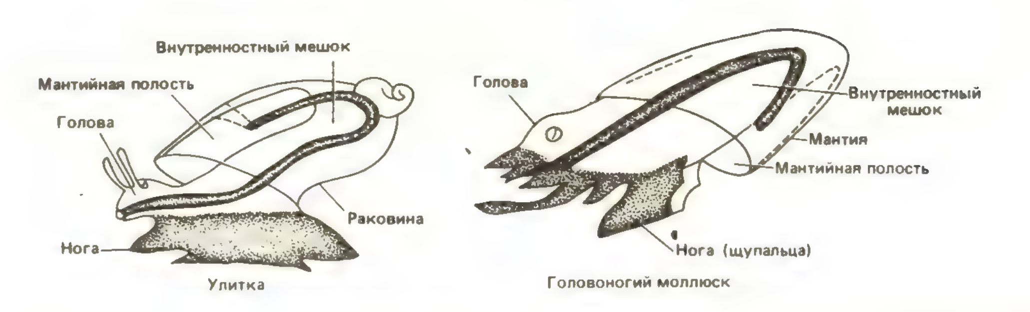


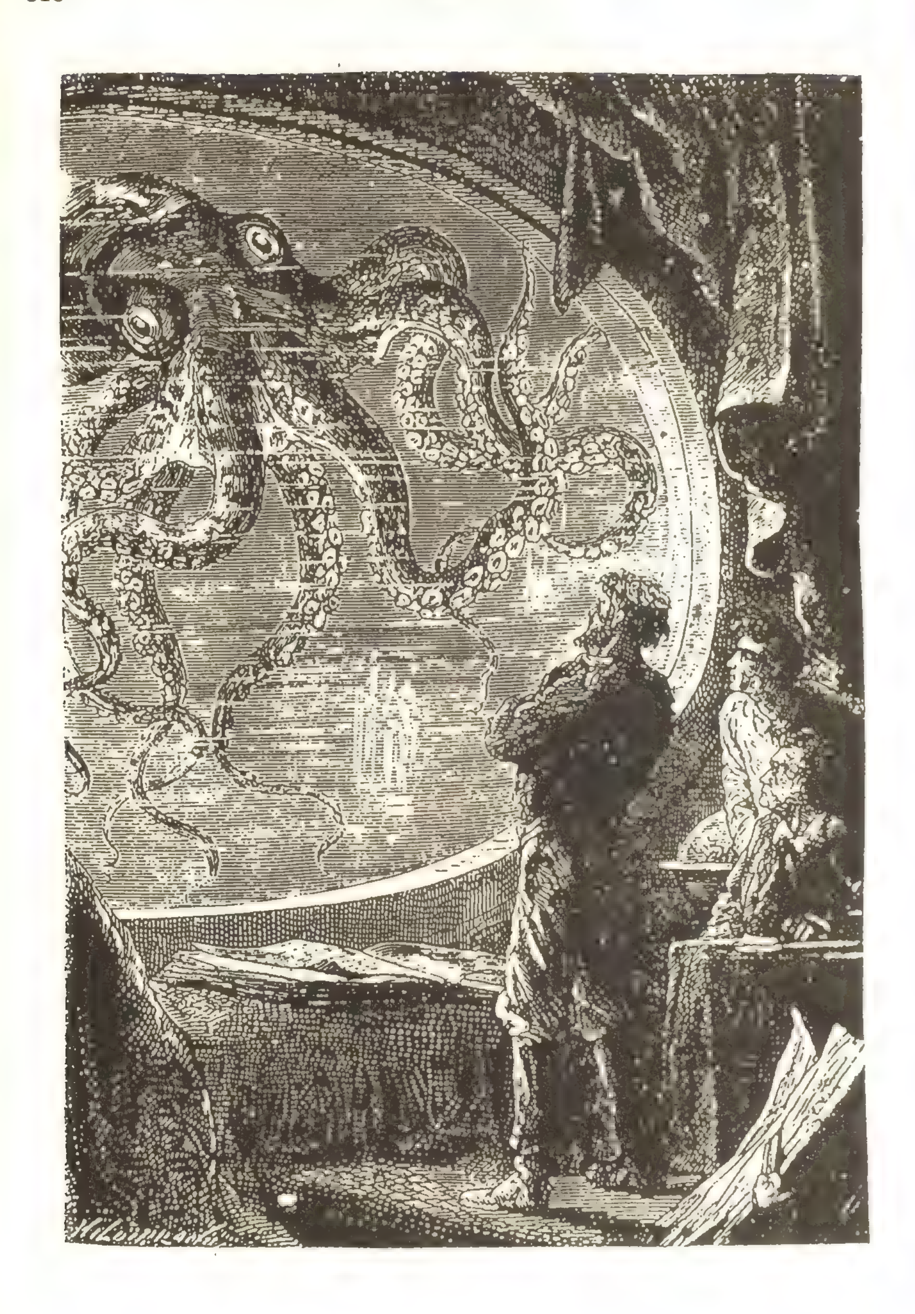
Рис. 23-3. Тело моллюска состоит из трех основных частей: ноги, висцеральной массы над ней, содержащей внутренние органы, и мантии, покрывающей тело. Мантия в свою очередь может быть защищена раковиной. У современных головоногих моллюсков раковины обычно нет, хотя у древних форм она имелась.



Рис. 23-4. Два вида обычных осьминогов.

тор — система хроматофоров. Поверхность тела покрыта клетками, каждая из которых содержит пигментный пузырек. Он может быстро растягиваться до значительных размеров или сокращаться почти до точечной величины под воздействием нервных импульсов, идущих от мозга. Таким путем достигается изменение окраски тела (рис. 23-6). Возникающие при этом рисунки, так сказать, запечатлены в мозгу и могут перемещаться по поверхности животного. Они генетически детерминированы и, как показали сравнительные исследования, очень древнего происхождения; по крайней мере некоторые из них существовали сотни миллионов лет.

Изменение окраски несет различные функции. Одна из них — маскировка: рисунок меняется, когда животное переходит в иную среду. В основном, однако, он отражает внутреннее, "душевное"



состояние, аналогично тому, как разливается румянец или смертельная бледность на щеках человека. Существуют особые расцветки у сексуально возбужденных животных — обычно это полосатый узор "зебры" у самца. Тот, кто работает с головоногими, часто начинает думать, что у них проявляются реакции, напоминающие наши собственные душевные состояния, например колебания, внутренние конфликты, гнев, страх и т. д. Как бы то ни было, объективно можно распознать состояние животного по его окраске и предсказать, что оно предпримет. А поскольку другие головоногие и даже рыбы как будто могут понять значение узора, его меняющийся характер может также служить своеобразной сигнальной системой.

Органы чувств

Глаза головоногих моллюсков необычайно сходны с глазами позвоночных (см. рис. 21-8). Но, как показали исследования на нескольких видах, головоногие, по-видимому, не обладают цветовым зрением. На их щупальцах имеются многочисленные органы вкуса. Когда осьминог передвигается, его щупальца "пробуют на вкус" всякий предмет, попадающийся на пути, и подбирают его, если он кажется съедобным. Вкусовые органы расположены и вокруг рта. Осьминог имеет также два отоциста, которые сообщают ему о положении тела относительно силы тяжести и несколько напоминают органы равновесия в нашем внутреннем ухе, служащие той же цели. Однако органов для восприятия звуков нет: судя по анатомическим и поведенческим данным, головоногие моллюски лишены слуха.

Нервная система осьминога

Строение тела, приспособленное для активной жизни, хорошо развитые органы чувств, крупный мозг и довольно сложное поведение позволяют предположить, что осьминог — весьма "умное" животное, намного умнее, например, пчелы, мозг которой состоит всего лишь из 0,8 млн. нейронов, а это почти в 200 раз меньше, чем у небольших осьминогов. Но цифры здесь обманчивы: способности

Рис. 23-5. Иллюстрация из старого издания романа Жюля Верна "Двадцать тысяч километров под водой". Осьминоги, хотя и не настолько большие, встречаются в прибрежных водах северной части Тихого океана.

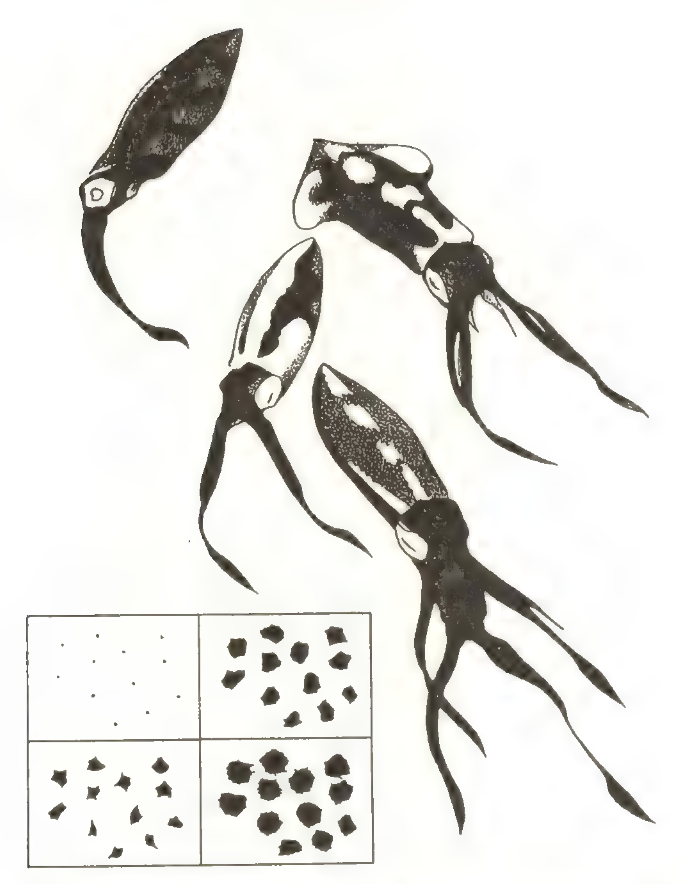


Рис. 23-6. Изменения окраски тела у головоногих моллюсков. Подобные узоры, находящиеся под контролем нервной системы, создаются путем расширения или сжатия мельчайших пузырьков в пигментных клетках — хроматофорах (*внизу слева*).

осьминога гораздо менее разносторонни, чем у пчелы. Основная причина состоит в том, что его нервная система недостаточно централизована.

Центральная нервная система осьминога — это головной мозг и нервные сети щупалец, во многих отношениях соответствующие спинному мозгу позвоночных (рис. 23-7, *А*). Но если у человека головной мозг гораздо больше спинного, то у осьминога около двух третей центральных нейронов находятся в щупальцах.

21—305

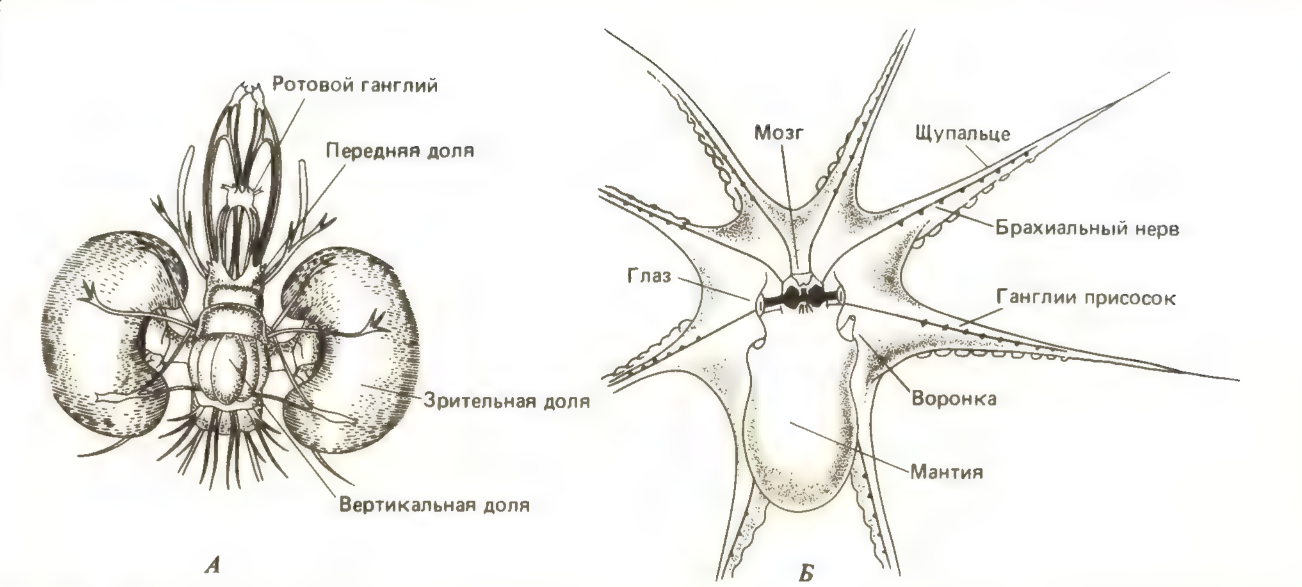


Рис. 23-7. Центральная нервная система осьминога. *А*. Крупный мозг этого животного состоит из долей, часть из которых указана на рисунке. Получая значительную информацию от глаз, мозг перерабатывает ее вместе с другими сигналами и координирует движения тела в целом. *Б*. Однако около двух третей нейронов находятся в крупных нервах или ганглиях, иннервирующих щупальца; эти нейроны получают сигналы от расположенных поблизости сенсорных клеток, например вкусовых или осязательных рецепторов, и могут в значительной мере управлять движениями щупалец независимо от центрального мозга. Поскольку мозг не полностью информирован о положении и деятельности этих придатков, "личность" осьминога нельзя считать вполне унитарной.

Около каждой присоски имеется скопление нервной ткани, называемое ганглием (рис. 23-7, *А*). Сигналы от локальных органов осязания и вкуса обрабатываются в местных ганглиях, которые затем посылают приказы соседним мышцам. Таким образом, эти ганглии щупалец действуют как полунезависимые нервные центры, подобно сегментарным ганглиям кольчецов и насекомых; но они также обмениваются сигналами с центральным мозгом животного через нервные волокна, идущие внутри каждого щупальца. Поэтому мозг в некоторой степени знает, что делают щупальца, и может приказать им выполнять различные движения. Но информация, идущая к мозгу, ограниченна: мозг не может, например, отличить, поднимает ли животное легкий цилиндр или тяжелый, наполненный свинцом. Это тем более забавно, что сторонний наблюдатель видит по изгибу или напряжению щупалец, какой именно цилиндр поднимает осьминог. Очевидно, что, хотя мозг осьминога и может отдавать приказы щупальцам, он не получает информации о развиваемых в них мышечных усилиях.

Мозг

Центральный мозг (рис. 23-7, *Б*) состоит из нескольких долей и заключен в хрящевую капсулу, образующую своеобразный череп. Основную массу составляют две доли, называемые зрительными, которые помимо прочего получают волокна от глаз, каждая от глаза с той же стороны.

Двигательные центры

В различных долях имеются также двигательные центры, вполне сходные с такими же центрами головного мозга позвоночных. При достаточно сильной стимуляции они посылают импульсы по нервным волокнам, идущим к мышцам и другим органам-эффекторам. Эти двигательные центры удобно будет подразделить на низшие и высшие.

Низшие двигательные центры — это источник импульсов, идущих непосредственно к эффекторам. Если их удалить хирургическим путем, осьминог превратится в неподвижную массу без определенной позы.

Электростимуляция отдельных низших двигательных центров производит эффекты некоординированного типа. Раздражение одного из них, например, может вызвать расширение всех хроматофоров мантии, другого — несогласованные движения щупалец.

Подобная стимуляция вызывает такие "неосмысленные" эффекты потому, что она и на нейроны воздействует неупорядоченным образом. Но при их естественной активации низшие двигательные центры, даже отделенные от других частей мозга, производят согласованные воздействия.

После удаления высших двигательных центров осьминог, управляемый теперь только низшими центрами, продолжает сохранять определенную позу, может ходить и плавать, но не способен атаковать или находить пищу. Очевидно, высшие двигательные центры выполняют координационную функцию: они инструктируют низшие центры таким образом, что те обеспечивают не просто "плавание" или "ходьбу", а сложные движения, связанные с атакой или бегством. Коротко говоря, низшие двигательные центры отдают приказ "что-то делать", например "ходить", в то время как высшие поручают низшим "сделать что-то определенным образом", например "напасть на краба".

Однако значительная часть мозга как у человека, так и у осьминога состоит не из двигательных центров, а из "молчащих зон", называемых так потому, что электростимуляция не дает здесь очевидных результатов. Эти зоны состоят из очень мелких нейронов, переплетенных наподобие войлока. Они связаны с научением, памятью и классификацией раздражителей, включая их подразделение на приятные и болезненные.

Как работает мозг

Анализ мозговых функций у осьминога основан главным образом на сочетании двух методов: поведенческого и хирургического. У осьминога довольно мало различных форм поведения, и 90% всех нейронов его мозга участвует всего лишь в двух реакциях — атаке и отступлении.

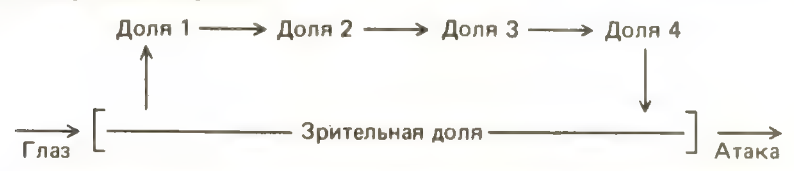
Осьминогу можно показать краба и одновременно карточку с изображением треугольника, квадрата или иной фигуры. Треугольник, допустим, означает, что краб безопасен, а квадрат — что прикосновение к нему грозит легким электрическим ударом. Осьминог быстро это усваивает и избегает нападать на краба, если видит квадрат. Таким способом можно установить, что́ способен различать осьминог, что́ он может выучить, надолго ли запоминает и т. п.

Подобный способ исследования позволяет нам узнать еще больше в сочетании с хирургическим методом. Поскольку мозг осьминога четко подразделен на доли, их довольно легко удалять у на-

ходящегося под наркозом животного, которое обычно хорошо переносит эту операцию. После этого можно понаблюдать, какое влияние она окажет на результаты предшествующего или последующего обучения. Таким образом можно локализовать и изучить различные функции и их взаимосвязи в мозгу осьминога.

Контроль над реакцией нападения

Движущийся объект, такой как краб, запускает реакцию нападения. Можно подумать, что это попросту рефлекс: вид краба вызывает автоматическую реакцию — "атаку". На самом деле это не совсем так. При неосторожном нападении без учета обстоятельств осьминог подвергает себя серьезному риску. С другой стороны, откладывая атаку из-за незначительных помех, он рискует остаться голодным. Поэтому нервные сети организованы таким образом, что реакция зависит не от одного, а от нескольких факторов. Нервная сеть, контролирующая атаку, выглядит в упрощенном виде следующим образом:



Поступающие от глаз импульсы распознаются в зрительной доле как означающие, скажем, краба. Тогда зрительные доли подают сигнал к атаке; импульсы из зрительных долей поступают в двигательные центры, которые в свою очередь дают подробные инструкции мышцам, ответственным за выполнение атаки. Пока все это напоминает дверной звонок. Однако существует также четыре мозговых центра (или доли), связанных со зрительной долей; они видоизменяют и контролируют реакцию нападения. Если перере́зать связи между этими центрами и зрительной долей, реакция еще может осуществиться, но в иной форме: осьминог весьма лениво протянет щупальце и схватит краба, если тот находится неподалеку, но не станет активно преследовать его. Поведение осьминога выглядит как слабо мотивированное. Неврологическая основа "низкой мотивации" состоит в том, что число импульсов, исходящих от зрительной доли, невелико, и это приводит к незавершенной реакции.

Для осуществления полной реакции атаки четыре доли, расположенные над зрительной долей, должны увеличить число им-

пульсов. Это достигается через петлю обратной связи: сигналы из зрительной доли, запускающие атаку, последовательно проходят через четыре другие доли и возвращаются в зрительную. Проходя через эти доли, сигналы усиливаются, но степень усиления зависит от того, какие еще сигналы поступают в те же доли. Скажем, доля 2 получает сигналы, означающие боль. Некоторые из них передаются доле 4 (вертикальной доле). При накоплении достаточного количества таких сигналов доли 2 и 4 тормозят прохождение сигналов назад к двигательным центрам зрительной доли. Таким образом, болевые раздражители подавляют реакцию нападения, что выражается в нерешительности, осторожности или полном ее торможении. Вся система находится в состоянии неустойчивого равновесия, когда небольшие изменения в силе различных сигналов могут приводить к атаке или отступлению, так что обе эти реакции — уже не простые рефлексы.

Сознание осьминога

Пчелы, не говоря уже о крысах, имеют внутреннюю карту внешнего мира и в этом смысле, можно сказать, обладают сознанием. У некоторых головоногих моллюсков тоже, хотя и в довольно ограниченной степени, сохраняются внутренние модели, или "образы", предметов, в данный момент отсутствующих, и этими моделями они могут пользоваться. Если каракатица видела, как креветка исчезла за выступом скалы, она не теряет к ней интереса, а следует за невидимой в данный момент добычей.

Однако осьминог, столкнувшись с подобной проблемой, испытывает затруднение. Вот, например, краб находится за стеклянной перегородкой; до него можно добраться кружным путем, но при этом на протяжении части пути осьминог не будет видеть краба (рис. 23-8). Фактически условия опыта здесь воспроизводят простую форму лабиринта, где животное, находясь внутри, не может видеть конечной цели. Тем не менее осьминог часто успешно преодолевает лабиринт и добирается до краба. Но происходит это не благодаря совершенству его "внутренней карты".

Осьминогу удается добраться до запрятанного краба лишь потому, что он смотрит на поверхность, вдоль которой движется, и продолжает смотреть в ту сторону, где должен находиться невидимый краб. Поскольку он "знает" это направление, хотя и не видит цели, — значит, у него все-таки есть какая-то внутренняя карта, но она весьма туманна. Если осьминог потеряет зрительный контакт с поверхностью, закрывающей от него краба, то он может в

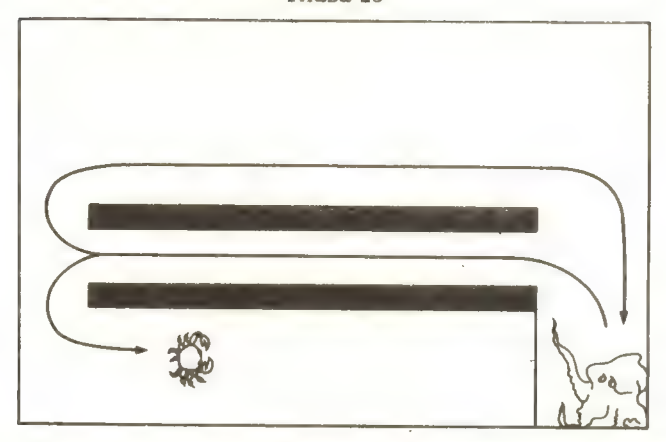


Рис. 23-8. Осьминог в простом лабиринте. Он видит краба через стеклянную перегородку, но, поскольку он не может достать его, то выбирает непрямой путь между двумя стенками, которые теперь не позволяют видеть краба. Здесь он продолжает держать левый глаз повернутым к левой стене, как бы глядя на невидимого краба, и если, дойдя до конца стены, он все еще смотрит в эту сторону, то обычно правильно поворачивает налево. Но осьминог имеет очень слабое представление о расположении частей своего тела — в частности, он не может отличить левой стороны от правой. Поэтому, если он перенесет оставшийся в памяти образ краба на правую сторону, то повернет направо и возвратится туда, откуда начал свой путь.

конце пути с равной вероятностью повернуть вправо или влево: он больше не знает, где находится краб.

Основная причина трудностей, испытываемых осьминогом, состоит в несовершенной оценке им положения собственного тела. Это более отчетливо проявляется в экспериментах с животным, ослепшим на один глаз. Если такой осьминог сначала видит краба, а затем движется по лабиринту, обратив свой единственный зрячий глаз к перегородке, отделяющей его от добычи, то обычно находит верную дорогу. Чаще, однако, бывает так, что осьминог, войдя в лабиринт, поворачивается этим глазом к противоположной стенке. В этом случае он делает потом неверный поворот и возвращается к исходной точке.

Этот и другие эксперименты показывают, что осьминог может хорошо оценивать положение своего тела, основываясь на информации от глаз. Если же такой информации нет, он как будто не замечает, что сделал поворот на 180%. Осьминог не получает ясного представления о положении своего тела на основе внутренних

(проприоцептивных) ощущений вроде тех, какими пользуемся мы, когда идем с завязанными глазами или в темноте. Поэтому он не в состоянии без помощи глаз отличить правую сторону от левой и в результате не может преодолеть лабиринт или преследовать добычу.

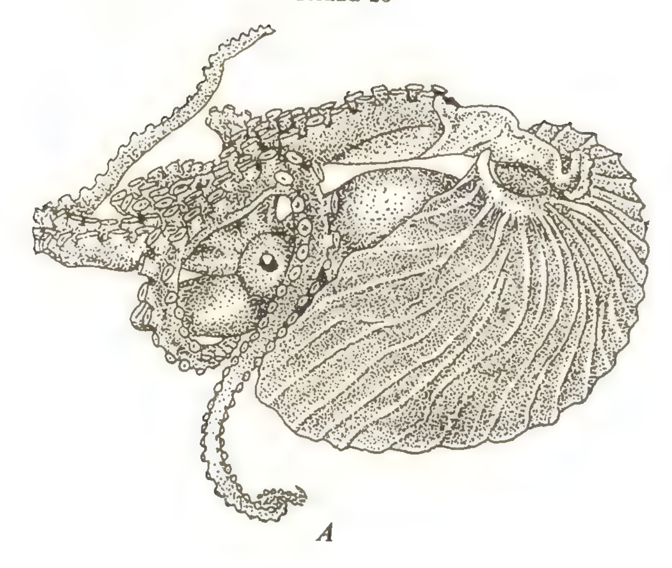
Кроме того, большая часть поступающих в мозг проприоцептивных импульсов, каковы бы они ни были, не доходит до тех уровней, которые связаны с научением и некоторыми другими сложными аспектами поведения. Мозг осьминога не получает подробной информации о том, чем заняты его щупальца, поэтому он не может научиться делать ими что-то новое. Этим и объясняется, почему щупальца, на первый взгляд столь хорошо приспособленные для манипулирования предметами, используются с такой целью лишь в очень ограниченной степени.

Степень информированности высших центров о состоянии тела варьирует у различных видов, и здесь, между прочим, мы находим превосходные примеры эволюционной пластичности мозга. Для "ходьбы" по дну у осьминога имеются в мозгу центры, контролирующие движения щупалец, хотя и не во всех деталях. Однако у некоторых осьминогов, вернувшихся к плаванию, части мозга, управляющие такими движениями, дегенерировали, так что реакции их щупалец, как и у кальмаров, имеют теперь гораздо более "механический" характер. Для примера рассмотрим аргонавта.

Аргонавт

Самый красивый представитель головоногих — это аргонавт (рис. 23-9). (Греки называли его "наутилус", не путать с наутилусом, или корабликом, — другим моллюском, которому современные зоологи довольно неудачно дали это название.) Верхняя пара его рук выделяет вещество, которое, застывая, образует пергаментообразную раковину. Внутри нее и живет аргонавт, плавающий в море под водой, а часто и на поверхности. Аргонавт может на короткое время выходить из раковины, но если он лишается ее навсегда, то погибает.

Аргонавтом восхищались еще моряки древнего Средиземноморья; он вошел во многие легенды как прототип мореходов. Считалось, что он распускает перепонку, как парус, и пользуется руками вместо весел, а зимородок — Алкиона — кладет яйца прямо в его раковину. Этот легендарный зимородок, согласно поверьям, вылуплялся прямо в море и мог утихомирить волны во время зимнего ненастья. Отсюда и пошло выражение "дни Алкионы", означаю-



Б

щее время покоя и счастья. Раковина Афродиты, которой богиня пользовалась вместо лодки, — это тоже раковина аргонавта.

Во время кормежки аргонавт протягивает перепонку между двумя своими щупальцами над раковиной. Если перепонки коснется какая-либо пригодная пища, то поступят сигналы к другим щупальцам, которые сразу же вытянутся и схватят добычу. Если оттянуть перепонку в необычное для нее место, а затем прикоснуться к ней кусочком рыбы, остальные щупальца тотчас прореагируют, но вытянутся не к месту прикосновения, а туда, где перепонка должна была бы находиться при нормальных обстоятельствах (рис. 23-9, *Б*). При схватывании добычи щупальца действуют автономно, мозг не сообщает им о фактическом положении перепонки. Поэтому они "предполагают", что перепонка (а значит, и пища) находится там, где ей следует быть, и выполняют стереотипную реакцию.

Диффузные и целостные "личности"

Нервная система осьминога состоит, очевидно, из нескольких не очень тесно соединенных частей. Вероятно, это обусловлено тем, что у него нет скелета — системы жестких, но подвижно сочлененных опорных элементов.

У нас есть скелет, и о положении суставов, число которых ограниченно, мозг получает информацию от внутренних сенсорных органов (проприоцепторов). Это в основном рецепторы растяжения, которые чувствительны к напряжениям, возникающим при работе мышц и суставов. Благодаря им мы можем с закрытыми глазами почесать нос и научиться осуществлять сложные движения тела под непрерывным контролем мозга. У пчелы тоже есть суставы и скелет (в данном случае наружный), что, видимо, позволяет ей хорошо осознавать конфигурацию своего тела.

Рис. 23-9. *А*. Аргонавт — плавающий осьминог, который образует для себя пергаментообразную раковину. *Б*. Между двумя из его щупалец имеется перепонка, способная ощущать присутствие пищевых объектов. В представленном здесь опыте эта перепонка была прикреплена к стенке аквариума в неестественном положении. Если дотронуться до нее кусочком рыбы, одно из щупалец (пунктирная линия) вытягивается, чтобы схватить добычу, но не в ту сторону, где фактически находится перепонка, а туда, где она должна быть в нормальных условиях. Очевидно, аргонавт не имеет полного представления о положении частей своего тела.

Но у осьминога нет скелета; части его тела могут принимать самые разные очертания, причем число вариантов во много раз больше, чем у человека. Чтобы проинформировать мозг о бесчисленных возможных положениях щупалец, а также перерабатывать всю эту информацию, потребовалось бы огромное количество нервных волокон и нужен был бы такой громадный мозг, который, вероятно, даже не поместился бы в теле. Поэтому движения тела контролируются в значительной части локально, например нервными подсистемами щупалец.

Было высказано предположение, что именно отсутствие скелета не позволило беспозвоночным в целом развить высшие психические функции (исключение — пчела, однако она лишь подтверждает правило). Для них цена сложной нервной сети, необходимой для передачи информации об очертаниях тела, оказалась непомерно высокой. Если это так, то вряд ли можно надеяться, что в один прекрасный день осьминоги создадут великую подводную цивилизацию. Они существуют на планете почти так же давно, как и млекопитающие, но мало продвинулись в этом направлении.

Расщепление человеческого мозга

Как известно, гидру или плоского червя можно разрезать на несколько частей, и из каждой части в дальнейшем образуется целый организм. Это в принципе относится и к нервной системе: ее можно разделить на две половины, и из каждой затем разовьется отдельная "личность". Хороший пример — наш собственный мозг.

Головной мозг человека состоит из двух полушарий, правого и левого. Правое полушарие, отправляя и получая нервные сигналы, имеет дело с левой половиной тела, левое — с правой. В норме оба полушария соединены толстым пучком нервной ткани, так называемым *мозолистым телом*, и образуют единое целое (см. рис. 21-6). Поскольку оба полушария почти дублируют друг друга, их долго считали примером излишества, когда каждое служит "запасной частью" для другого. И действительно, если целиком удалить правое полушарие (что иногда делается при иссечении очень крупной опухоли), последствия для психики пациента оказываются минимальными. (Несколько иначе обстоит дело при удалении левого полушария, так как именно в нем, а не в правом полушарии находятся центры, ведающие речью и ее пониманием; у реже встречающихся левшей эти центры, наоборот, справа.)

Одно время была популярна операция перерезки мозолистого тела при некоторых формах эпилепсии. Это облегчало симпто-

мы болезни, предотвращая распространение судорожной нервной активности с одного полушария на другое. Сейчас такой способ лечения вышел из моды, но, каковы бы ни были его достоинства с медицинской точки зрения, он способствовал получению весьма ценных сведений о мозге.

Больной с перерезанным мозолистым телом имеет два почти обособленных мозга. Конечно, это разделение не совсем полное: оба полушария управляют одним и тем же телом, так что оба они видят в общем одно и то же, одно из них слышит, что говорит другое, и т. д. Они, таким образом, хотя и косвенно, но скоординированы и притом в значительной степени; например, оба полушария спят в одно и то же время. Однако они не могут больше напрямую общаться друг с другом.

При изучении такого больного извне становится ясно, что он представляет собой две разные личности. Поле зрения разделено теперь на две половины, и когда что-нибудь появляется с одной стороны, его видит только противоположное полушарие. Левое полушарие может описать словами то, что оно видит, а правое — нет, так как в нем отсутствуют центры речи. Однако правое полушарие может показать невербальными способами, что оно узнаёт то, что видит. Оба полушария обучаются по отдельности, и обезьяны с перерезанным мозолистым телом, овладев решением некоторых задач, могут выполнять их вдвое быстрее обычного, поскольку имеют в своем распоряжении два мозга. У человека два полушария могут одновременно проявлять разные эмоциональные реакции.

И все-таки в чем-то это не разные личности. После операции больной как будто сохраняет все свои прежние умственные способности и ведет себя как единая личность. И, что, может быть, самое важное, сам воспринимает себя так, как будто во многом остается столь же цельной личностью, как и раньше. По-видимому, это связано с тем, что обе личности по-прежнему находятся в одном теле, и в результате сохраняется достаточное взаимодействие между полушариями, так что оба остаются в некоторых отношениях частями одного человека.

Литература

Cousteau J. Y., Diole P. Octopus and Squid: the Soft Intelligence, Doubleday and Co, New York, 1973.

Lane F. W. Kingdom of the Octopus, Jarrolds, London, 1957.

Moynihan M. Communication and Noncommunication by Cephalopods, Ind. University Press, Bloomington, 1985.

Wells M. J. Octopus, Physiology and Behavior of an Advanced Invertebrate, Chapman and Hall, London, 1978.

Young J. Z. A Model of the Brain, Oxford, At the Clarendon Press, 1964.

Young J. Z. The Memory System of the Brain, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1985.

Глава 24

Сознание и мозг

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Сенсорные сигналы, которые мы осознаем, например зрительные, слуховые или болевые, обладают различными субъективными свойствами — это так называемые сенсорные модальности. Различные свойства не есть результат различий в сигналах, поступающих в мозг: нервные импульсы во всех случаях однотипны. Модальность зависит от того, в какой отдел мозга поступают сигналы.

Субъективное осознание различных сенсорных модальностей и своего "я" — это один из аспектов сознания, которое нельзя определить с помощью других понятий, так как оно представляет собой первичную данность, непосредственно известную только самому субъекту. Хотя наука, стремясь к полной "объективности", часто пыталась исключить все ссылки на субъективное сознание, ей это так и не удалось, потому что знание, а тем самым и наука, всегда предполагает наличие сознательного наблюдателя.

Взаимоотношения между сознанием и мозгом всегда составляли трудную философскую проблему, так как сознание есть продукт взаимодействия нервных сигналов, которые, казалось бы, не несут в себе никакого "духовного" компонента. Чтобы примирить существование субъективно-психических реалий с представлением о том, что во вселенной нет ничего "нефизического", была предложена философская концепция "нейтрального монизма". Согласно этой концепции, нет вещей чисто физических или чисто психических — они могут выступать как те или другие в зависимости от аспекта, в котором мы их рассматриваем.

В нервной системе, куда бы мы ни заглянули, мы всюду обнаружим сходную активность, а именно потоки нервных импульсов электрической природы. Однако эти импульсы производят совершенно разный субъективный эффект. При раздражении уха поток электрических импульсов проходит по нервным волокнам к мозгу и мы слышим звуки, тогда как аналогичные сигналы, идущие от

глаз, приводят к качественно совсем иному ощущению света. Слух, обоняние, вкус и зрение называют *сенсорными модальностями*.

Очевидно, деятельность мозга имеет два аспекта: в "объективном" плане (при взгляде со стороны) это совокупность нервных процессов, а в "субъективном" (при взгляде изнутри) — нечто качественно иное, не поддающееся прямому сопротивлению с тем, что можно наблюдать извне. Соотношение между этими двумя аспектами составляет так называемую "психофизическую проблему" (проблему "души и тела"). Мы можем приблизиться к ней в несколько этапов.

Модальность зависит от того, куда поступают сигналы

Можно прежде всего заметить, что стимул воспринимается как свет, если он поступает в определенный отдел мозга, независимо от того, был ли это действительно свет. Раздражение зрительного нерва любым способом, например давлением на глаз, вызывает ощущение света. То же самое относится к звуку или запаху. Поэтому первый вывод состоит в том, что качество ощущения зависит не от того, какой сенсорный раздражитель был причиной возникновения нервных импульсов, а от того, куда они поступили в мозгу.

Новая сенсорная модальность: ви́дение кожей

Мы обладаем ограниченным числом сенсорных модальностей, но с помощью специальных методов можно развить такие способности, которые прежде не были свойственны человеку и могут стать зачатком новой модальности. Можно, например, поместить на кожу спины решетку из небольших вибраторов и соединить ее с видеокамерой, закрепленной на голове. Камера будет управлять интенсивностью вибраций, так что на спине будет создаваться "изображение", построенное из осязательных (тактильных) стимулов. Но поскольку в решетке только 20 × 20 вибраторов, разрешающая способность системы будет низкой (рис. 24-1).

Вначале это изображение кажется просто тактильным ощущением, но примерно после 40 часов тренировки слепые испытуемые сообщают, что оно уже не связывается в их сознании со спиной, а интерпретируется как образ предметов, находящихся во внешнем пространстве. .При этом предметы могут восприниматься в перспективе, заслонять друг друга и изменять свою величину в зависимости от расстояния при движении испытуемого. Такие восприятия начинают напоминать по своей модальности зрение: кожа

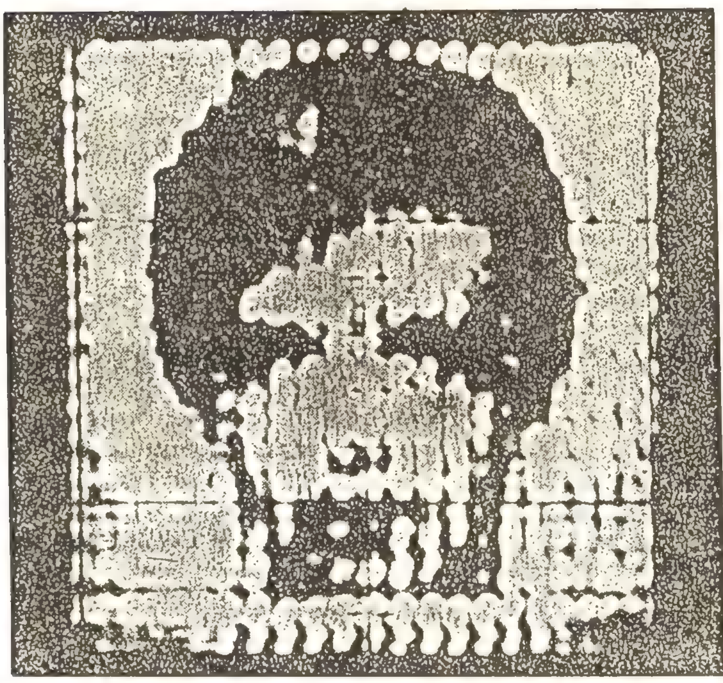


Рис. 24-1. Изображение лица человека при низкой разрешающей способности (400 точек). Испытуемые способны различать вибротактильные "картины" (паттерны) такой степени сложности.

функционирует как своего рода сетчатка. Но хотя ощущения больше не обладают качеством осязательной модальности, испытуемые не характеризуют их и как зрительные, несмотря на некоторые черты сходства с последними. Общее между такими тактильными образами и зрительными то, что ощущения воспринимаются как локализованные во внешнем трехмерном пространстве.

Подобные результаты могут показаться удивительными, но если мы обратимся к царству животных, то найдем вполне аналогичные примеры. Летучие мыши, использующие эхолокацию для маневрирования с необычайной точностью в полной темноте, или рыбы, воспринимающие электрические поля, тоже конструируют модели или "картины" внешнего мира из своих слуховых или электросенсорных ощущений, как бы распределенных в трехмерном пространстве. Такого рода восприятия принципиально сходны со зрением примерно в той же мере, что и тактильные образы, возникающие у слепых. Но каков субъективный аспект по-

добных образов, если он вообще имеется, мы, конечно, узнать не можем. Эксперименты с “кожным зрением” наводят на мысль, что могут быть и, вероятно, существуют люди, обладающие такими модальностями восприятия, которые мы не в состоянии даже вообразить, — точно так же как рожденный слепым не может представить себе, что такое красный цвет.

Синестезия

Если модальность ощущений определяется тем, в какой отдел мозга поступают сигналы, то в принципе мыслимо существование организмов, воспринимающих свет как звук ли вкус как свет. И действительно, примерно у двух человек из миллиона отмечается явление, называемое *синестезией*, при котором происходит нечто похожее, хотя и не в такой крайней форме: сенсорные модальности не полностью замещают друг друга, а смешиваются. Звук не только слышится, но и имеет цвет, раствор сахара, действуя на язык, не только вызывает вкусовое ощущение, но и порождает зрительные образы вроде цветовых квадратиков или спиралей. Очевидно, нервные импульсы, исходящие из вкусовых сосочков языка, достигают каких-то центров мозга, где интерпретируются как свет.

“Нормальная” синестезия

Синестезия описанного выше типа необычна. Но существует нечто весьма похожее, с чем мы хорошо знакомы. Ощущения удовольствия и боли можно тоже рассматривать как особые сенсорные модальности, и они могут примешиваться к другим модальностям. Например, определенный запах — ощущение обонятельной модальности — может сопровождаться также чувством удовольствия или отвращения (иногда в зависимости от обстоятельств).

Центры удовольствия

Можно четко локализовать в мозгу то место, где нервные импульсы воспринимаются как ощущение удовольствия. Вживив небольшие электроды в надлежащий участок мозга крысы и замкнув электрическую цепь нажатием на рычаг, можно стимулировать нейроны этого участка слабым током. Крыса быстро обучается сама нажимать на рычаг и продолжает этим заниматься иногда так долго, что падает в изнеможении. Поскольку она не получает за свои усилия никакой награды, кроме самих стимулов, можно

сделать вывод, что она возбуждает собственный "центр удовольствия".

Боль

Боль, как и удовольствие, возникает при поступлении в мозг определенных сигналов. Однако единого четкого центра, стимуляция которого вызывала бы боль, в мозгу не существует, и как в психологическом, так и в нейрофизиологическом плане ощущения боли недостаточно изучены. Иногда рождаются индивидуумы, не способные чувствовать боль. Их жизнь, однако, полна опасностей, так как они не воспринимают сигналов о грозящем повреждении — не могут, скажем, автоматически отдернуть руку от огня.

Сознание

Отдавать себе отчет в чем-то, например в испытываемых ощущениях, значит обладать сознанием. Иногда некоторые философы и ученые отрицают факт наличия у нас сознания; но поскольку, по их собственному признанию, они сами пребывают в бессознательном состоянии, их мнение не следует принимать всерьез.

Прежде чем обсуждать сознание, нужно, казалось бы, четко определить, что это такое, чтобы было ясно, о чем идет речь. К сожалению, лучшее определение все еще похоже на то, которое дал св. Августин, епископ из Гиппона, в качестве дефиниции времени. "Что же тогда есть время? Если никто не спрашивает меня, я знаю, что это; если же хочу объяснить тому, кто спрашивает, то не знаю". Причина сходства состоит в том, что и время, и сознание — первичные данности, которые должны приниматься как они есть и не могут быть сведены к чему-то еще более первичному.

И все же существует мнение (сейчас не столь распространенное, как прежде), что понятие сознания для науки излишне. Поведение чего угодно, включая живых существ, можно описать и объяснить "объективно" на основе нервных сетей, атомов, гравитационных полей и т. п., не прибегая к представлению о том, что изучаемый объект обладает сознанием. И это на самом деле верно, но лишь в определенных пределах. Поэтому необходимо уточнить, в каких именно пределах такая точка зрения справедлива.

Физика — образец точной науки, и такие области, как астрономия, химия и биология (молекулярная и иная) в принципе являются сложными приложениями физики. Ввиду этого многие рассматривали физику как науку обо всем сущем: все "нефизическое" не реально и поэтому не составляет часть вселенной.

Действительно, физика, игнорируя сознание, добилась тем не менее величайших успехов, и именно это породило мысль, что сознание для науки не нужно и даже что оно всего лишь иллюзия. Правда, услышав это, некоторые спрашивают: "чья иллюзия"? Как бы то ни было, идея о том, что сознание иллюзорно, сама представляет собой иллюзию, так как "объективной" физике нужен внешний наблюдатель, не являющийся частью "физического мира". Под наблюдателем здесь подразумевается, конечно, не тело наблюдающего субъекта, а его "разум". Скажем, фотокамера, регистрирующая физическое явление — это еще не наблюдатель; фотография станет предметом наблюдения только тогда, когда кто-нибудь на нее посмотрит. Поэтому если такой наблюдатель будет включен в мир физики как его необходимое дополнение, то сам этот мир приобретет субъективный аспект — личностное "я" — наряду с объективным. В физике, однако, природа наблюдателя детально не рассматривается: он берется как данность. Поэтому чисто "объективная" физика, конечно же, не может быть наукой обо всем сущем.

Помимо этого общего рассуждения, с развитием квантовой механики исключение сознательного наблюдателя создало ряд трудностей внутри самой физики. Здесь нет возможности входить в детали. Но, говоря коротко, доказано существование очень тонких физических различий между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми событиями (так называемый "коллапс волновой функции", производимый наблюдателем). И хотя среди физиков не существует "философского консенсуса" по поводу того, что такое наблюдатель и что он делает, очевидно, что он является существенной частью мира, изучаемого физикой. Однако включение разума наблюдателя в этот мир — нелегкая задача для науки.

Психофизическая проблема (соотношение "духа и тела")

Сущность этой проблемы была прекрасно сформулирована философом и математиком Лейбницем, одним из изобретателей дифференциального и интегрального исчисления. Поскольку в его время были известны одни только гидравлические и механические устройства, он представлял себе мозг как систему шестеренок, рычагов и т. п., своего рода механический компьютер. Вообразим, что мы пробираемся сквозь эту огромную сложную систему: мы будем встречать на своем пути одну шестеренку за другой, но нигде не найдем мысли или ощущения. Сегодня мы видим в мозге систему, передающую и перерабатывающую нервные сигналы, и скорее

сравним его с электронным компьютером. Но и здесь остается та же трудность: нервные импульсы как будто не несут в себе ничего "духовного", как же тогда мы обретаем сознание?

"Сознательная" нервная сеть

Можно начать с вопроса очень примитивного свойства. Через какой вид сети должны пройти нервные сигналы, чтобы мы стали осознавать их?

1. Как уже отмечалось, прежде всего очевидно, что мы осознаём присутствие сигналов только тогда, когда они проходят через определенные части мозга. Это осознание вовсе не обязательно связано со сложностью самих сигналов или же форм поведения, которые могут быть ими вызваны, поскольку мозг способен выполнять сложные функции, даже если мы совершенно не осознаём того. Поразительный пример дает кортикальная слепота.

Если область, называемая зрительной корой, будет удалена или повреждена на обеих сторонах мозга, индивидуум становится совершенно слепым. Но у одного больного было повреждено только одно полушарие, и поэтому он не видел только одну половину поля зрения. Как и ожидалось, при предъявлении ему фигур X и O в "слепой" части его зрительного поля он сообщал, что не видит их. Тогда его попросили угадывать, X это или O: ответы были правильными в 27 случаях из 30. При предъявлении вертикальных и горизонтальных полосок он верно угадал в 30 случаях из 30. Очевидно, он не просто угадывал: изображения были видны, но сигналы не проходили по тем нервным путям, которые делают возможным их осознанное восприятие.

2. Высказывалось также предположение, что наше сознание подключается лишь тогда, когда мы делаем или узнаем что-то новое. Когда мы учимся водить машину, мы прекрасно осознаем, что делаем, но стоит нам научиться, как действия становятся автоматическими и мы можем выполнять их, даже отвлекаясь на посторонние вещи. К сожалению, хотя это и вполне справедливо, такие наблюдения не особенно информативны. Если действие автоматизировано, контролирующие его сигналы минуют определенные части мозга и становятся по существу рефлексами. И этим лишь вновь подтверждается уже известное: сигналы, проходящие по одним путям, достигают сознания, а по другим — нет.

3. Выдвигают мысль, что система становится сознательной, если наблюдает себя самое. К счастью, можно построить модель подобной системы. Видеокамера "видит" то, что находится в поле

ее зрения, и передает это на телевизионный экран. Пока все очень просто... Можно, однако, устроить так, что камера будет смотреть на тот самый экран, куда от нее передается изображение. Система теперь наблюдает саму себя. В подробностях результаты таких экспериментов непредсказуемы, но обычно происходит следующее: на экране начинают появляться упорядоченные конфигурации с крупными структурными деталями вроде полос (рис. 24-2), пятен или спиралей. Они плывут, исчезают, замещаются другими. Важно отметить, что это не просто случайные россыпи мелких точек: в узорах проявляется самоорганизация, которая не задана извне. То, что видит подобная система, создается тем, что она видит![1)]

Модель демонстрирует также, что самонаблюдение — это не та ситуация, когда одна часть системы наблюдает другую. Вместо этого система в целом наблюдает себя самое:

$$\text{Камера} \rightleftharpoons \text{Экран}.$$

Здесь нет отдельного наблюдателя, или "гомункулуса".

В психологии подобное самонаблюдение называют также интроспекцией: его часто считают ненадежным источником информации, так как наблюдение здесь само влияет на наблюдаемые события. Последнее совершенно верно, но отсюда не следует, что интроспекция дает нам ложную информацию. Система правильно регистрирует то, что сама создает в процессе наблюдения.

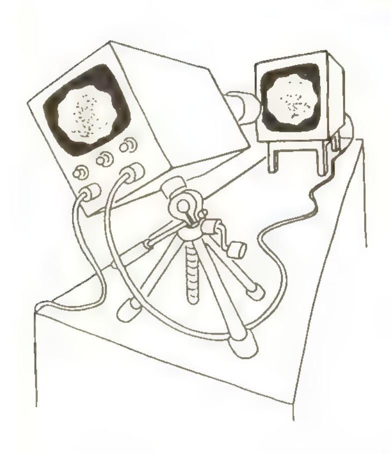
Общий аспект проблемы "духа и тела"

Наши довольно скудные знания о "сознательных" сетях мозга пока еще пролили мало света на психофизическую проблему. Но как бы мы ни предлагали решить ее, мы, по-видимому, должны принять следующие два постулата:

1. Субъективные психические феномены (ощущения и др.) — вполне реальная первичная данность, ибо только через них мы осознаём окружающий нас мир. Если счесть их нереальными, все рухнет. Это "все" включает и представление о том, что деятельность мозга основана на передаче и переработке нервных сигналов.

2. Необходимо также принять ту картину мира, которую дает нам физическая наука. Эту картину не нужно воспринимать как законченную, но любое предлагаемое решение психофизической проблемы не должно противоречить ей. Неприемлема мысль

[1)]Конфигурации изменчивы потому, что из-за различных искажений в системе видеокамера видит не совсем то, что было представлено на экране в предыдущем кадре.





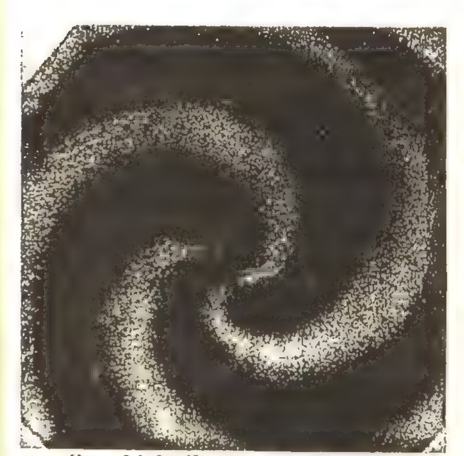




Рис. 24-2. Система, наблюдающая сама себя. Видеокамера наблюдает за изображением, которое она сама передает на экран телевизора. Камера наклонена по отношению к экрану, поэтому передаваемое изображение отличается от того, что видит камера. В этом случае появляются фигуры из движущихся спиралей.

о некой "душе", внешней по отношению к материи, так как она приводит материю, в данном случае материю мозга, в противоречие с механическими или другими физическими принципами. Но это ограничение оставляет нам немало иных возможностей.

Сознание как эпифеномен

В прошлом столетии популярно было представление о сознании как *эпифеномене* — "побочном продукте" деятельности мозга, не имеющем значения для нее самой. Так как мозг — физическая система, наши субъективно переживаемые мысли, желания и чувства не могут влиять на него и даже на то, что мы с его помощью думаем, желаем или чувствуем. В лучшем случае они могут сообщить нам кое-что о том, что делает мозг. В таком виде эпифеноменалистская концепция выглядит несколько наивно, но, возможно, содержит элементы истины, так как положение о том, что сознание есть результат работы мозга, безусловно справедливо.

Мозг, сознание и машины

Из предыдущих глав мы узнали, что машины, которые мы сами конструируем и поэтому хорошо понимаем, могут быть полезны для осмысления биологических концепций. Например, создание зенитных орудий способствовало пониманию проблемы поиска цели, субъективным аспектом которого является осознанная целенаправленность действий. В связи в этим можно надеяться, что некоторые из тех машин, которые сейчас есть в нашем распоряжении, прольют свет и на психофизическую проблему.

Попытки использовать машины для имитации функций мозга относятся к области работ по проблеме "искусственного интеллекта" (ИИ); конечная цель здесь — создание машин, функционально неотличимых от мозга. Решение этой задачи кажется пока весьма отдаленным, но давайте представим, что у вас есть такая машина. Существует мнение, что машина, работающая с тем же результатом на выходе, что и сознательный мозг, должна обладать сознанием: фиксированная схема соединений в такой машине соответствует мозгу, а программное обеспечение — сознанию. Не важно, из чего построена машина — из кремния, серебра или жестянок из-под пива, нанизанных на провода, — важна одна лишь программа. Крайние сторонники такого взгляда понимают это в весьма буквальном смысле.

Однако представление о том, что сознательный разум есть всего лишь программа, устраивает далеко не всех. Американский философ Дж. О. Сирл придумал машину, предназначенную служить контр-аргументом: получая информацию на входе, она дает на выходе правильный ответ, но явно не понимает, что делает, и, следовательно, не обладает "сознанием".

Машина состоит из закрытой комнаты, входной и выходной ще-

ли и книги с инструкциями. Книга — это “программа” машины. В комнате находится человек, который тоже считается частью машины. Этот человек не знает китайского языка. Через щель он получает сочетание иероглифов, означающее “будет ли завтра дождь?” Руководствуясь “программой” — книгой — он выбирает другое сочетание иероглифов: “вероятно, да, так как приближается холодный фронт”. Для сторонних наблюдателей, знающих китайский язык, машина как будто думает и дает верные ответы, но на самом деле для самой машины ее действия бессмысленны, т. е. машина не осознает, что делает. Это, по Сирлу, обусловлено тем, что символы, которыми оперирует машина, лишены качества, называемого “значением”.

Вычислительные машины манипулируют символами в соответствии с определенными правилами, но символы приобретают значение лишь только тогда, когда мы условимся придавать им тот или иной смысл. Так, мы можем написать и решить уравнение

$$V = AT.$$

Само по себе это просто сочетание символов, но мы можем приписать им определенные значения: V — скорость; A — ускорение и T — время. Сделав это, мы можем вычислить скорость в любое время T, если знаем ускорение. Но мы можем приписать символам и другие значения: V — расстояние; A — скорость и T — время. Тогда уравнение позволит нам вычислить расстояние, пройденное за время T.

Итак, символы, очевидно, не то же самое, что физические явления. Зная уравнение движения, наклон пушки и начальную скорость снаряда, можно вычислить символы, которые при условии их правильной интерпретации, и только при этом условии, позволят правильно определить положение снаряда в любой момент времени. Однако, находясь в точке прицела, легко убедиться, что существует большая разница между символами и реальным разрывом снаряда.

Сирл признает как данность, что мозг — это род компьютера. Поскольку это сознательный компьютер, а между тем, по утверждению Сирла, существуют и вычислительные машины, сознанием не обладающие, имеются, очевидно, две категории компьютеров: одни (мозг) сознательные, а другие хотя и выполняют сходные операции, лишены сознания. Чем же обусловлено это различие?

Вкратце, согласно Сирлу, оно аналогично различию между реальным снарядом и компьютером, вычисляющим его траекторию. Существует реальный физический процесс — определенный вид нервной активности в мозгу, — который соответствует сознанию

или, выражаясь проще, и есть сознание. Другие "разумные" машины создают лишь символические модели мышления, которые в принципе верны, но физически не соответствуют мыслительным процессам.

Эмерджентная эволюция

Сложность проблемы "духа и тела" связана с одним из основных постулатов средневековой схоластической философии, согласно которому следствие обязательно подобно причине. Поскольку психические процессы, по-видимому, качественно отличны от нервных импульсов, мы, приняв этот постулат, не сможем признать, что нервные импульсы способны порождать осознаваемые психические процессы.

Но это, вероятно, не так. Возьмем тепло. Физик скажет нам, что тепло есть просто беспорядочное движение атомов. Поэтому бессмысленно говорить о тепле, когда есть только один атом. Лишь тогда, когда множество атомов случайно движутся относительно друг друга, возникает явление, называемое теплом. Точно тек же один атом не обладает качеством вязкости: только в том случае, если множество атомов образуют жидкость, понятие вязкости приобретает смысл.

Кирпичи тоже не напоминают домá, но большое их количество, сложенное в определенном порядке, создает дом. Однако этот случай настолько привычен, что мы редко задумываемся о нем.

Представление о том, что взаимодействия между какими-то элементами на одном уровне приводят к новым и качественно иным явлениям на другом уровне, составляет суть концепции эмерджентной эволюции. Это положение часто и довольно энергично оспаривают "редукционисты", которые утверждают, что живой организм (и вообще все что угодно) есть "не более чем" сумма составных частей, будь то молекулы, кварки и т. п., и рассматривают идею эмерджентной эволюции как подход, привносящий в науку "мистические", внефизические представления. Но это происходит из-за недопонимания. Вселенная состоит не только из кварков, молекул и т. д., но также из взаимосвязей между ними. Новые явления, подобные жизни, возникают именно потому, что новые взаимосвязи, прежде лишь потенциальные, становятся реальностью.

Субъективные проявления психики

Полезно рассмотреть под этим углом зрения психофизическую проблему. Подобно тому как множество атомов, сами по себе, ра-

зумеется, совсем не "капустные", взаимодействуя, образуют вилок капусты, так и потоки нервных импульсов, вероятно, порождают качественно новые состояния — ощущения, чувства, понятия и в конце концов сознательную личность. И действительно, деятельность мозга не сводится к передаче отдельных импульсов: под их влиянием складываются обширные функциональные сети, которые вступают в дальнейшее сложное взаимодействие.

Такого рода взаимодействие особенно хорошо продемонстрировано при изучении обоняния у таких животных, как кошки и кролики. Даже небольшое число импульсов, поступающих от эпителия носа в отдел мозга, называемый обонятельной луковицей, активирует там все нейроны, так что возникают флуктуирующие электрические токи, которые можно уловить с помощью электродов, расположенных на ее поверхности (рис. 24-3, *А*). Волнообразные флуктуации отдельных нейронов носят неупорядоченный характер, но их усредненные амплитуды могут образовывать воспроизводимый узор, различный для разных запахов (рис. 24-3, *Б–Г*). Именно этот усредненный узор, а не индивидуальные нервные сигналы, символизирует запах.

Однако соотношение между таким узором и конкретным запахом вовсе не однозначно. Если животное просто ощущает определенный запах, узор носит один характер; если же оно обучено реагировать на этот запах тем или иным образом, т. е., запах стал значимым, то узор, все еще воспроизводимый, становится иным (например, при запахе опилок — рис. 24-3, *Б*). Если теперь научить животное узнавать запах бананов, а потом дать ему понюхать опилки, вызываемый ими узор будет не таким, как прежде (рис. 24-3, *Г*). Очевидно, узор для запаха опилок меняется при взаимодействии с предположительно аналогичными процессами в других частях мозга, хотя и сохраняет некоторые свойства, попрежнему делающие его специфичным для опилок.

Из-за этих взаимодействий вся система узоров несколько напоминает то, что можно видеть на экране приемника, когда видеокамера сама "смотрит" на этот экран (см. рис. 24-2). При взгляде извне такие узоры можно рассматривать как объективные проявления высокодинамичных процессов. Но при взгляде изнутри им соответствуют субъективные переживания, в некоторых случаях вплоть до сознания.

Представление о том, что психика, и особенно сознание — это внутренний аспект физических событий, близко к философской позиции, называемой "нейтральным монизмом". Мир не является психическим или физическим; это лишь два аспекта одной и той же реальности, и который из них преобладает, зависит от взаи-

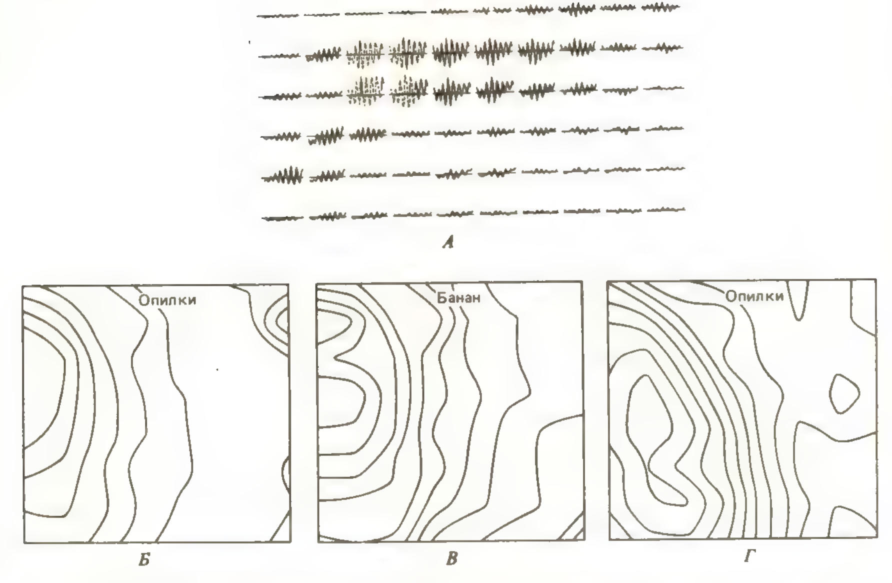


Рис. 24-3. Когда кролик что-то нюхает, нейроны в той части мозга, где происходит обработка обонятельной информации, начинают возбуждаться (*А*). Если средние амплитуды активности нейронов представить на поверхности этой части мозга в виде изолиний (*Б–Г*), то полученная карта распределения такой активности будет специфична для того или иного запаха. Однако запах может быть представлен не одной картой. После того как животное привыкнет к запаху опилок, мы получим карту *Б*. Если затем дать ему понюхать банан (*В*), а потом снова опилки, получится карта *Г*. По-видимому, физическая основа запаха опилок должна отражаться в каком-то абстрактном свойстве, общем для карт *Б* и *Г*.

модействия "нейтральных" начал, вместе составляющих мир. В мозгу особо выделяется психический аспект, а другие взаимодействия воспринимаются сознанием как физические.

Хотя это, без сомнения, не последнее слово, которое будет сказано по данному поводу, преимущество такой точки зрения состоит в том, что отпадает необходимость постулировать какие-либо нарушения физических принципов, когда мы рассматриваем сознание.

Глава 25

Перенастройка мозга

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. В первом приближении мозг можно представить в виде электрической схемы, составленной из нейронов и синапсов между ними, передающих сигналы от одного нейрона к другому. Некоторые вещества, однако, могут облегчать или затормаживать потоки импульсов в определенных нервных путях и таким образом видоизменять исходную схему; а это в свою очередь изменяет качество наших ощущений и восприятий, а иногда и поведение. Примерами могут служить афродизирующие средства (вещества, усиливающие половую активность) и анальгетики, или болеутоляющие средства.

Некоторые психотропные препараты могут вызывать галлюцинации и изменять качество восприятия. Их часто рассматривали как средства, открывающие новые аспекты реальности, и они в связи с этим могли приобретать сакральное значение; иногда их использовали в некоторых религиозных системах.

Различные изменения восприятия, вызываемые психотропными препаратами, подтверждают, что "реальность" может зависеть от способа переработки входных сигналов нервной системой.

Концепция "реальности"

Философы придерживаются разных взглядов, образуя целый спектр от "наивных реалистов", полагающих, что всё такое и есть, каким кажется, до крайних "идеалистов", которые думают, что все — продукт нашего разума. Иммануил Кант занимает промежуточную позицию; он считает, что существует нечто реальное — "вещи в себе" (Ding an sich по-немецки), но мы способны воспринимать мир "вещей в себе" лишь в определенных аспектах, или категориях, таких как пространство, время и причинность, которые привносятся наблюдателем. Как уже говорилось в главе 5, мы теперь знаем, что дети не рождаются со знанием этих или каких-

нибудь других категорий, например категории дискретных объектов; такого рода понятия постепенно формируются в результате опыта и обучения.

Однако у всех нормальных детей они вырабатываются сходным образом, вероятно потому, что человеческий мозг от природы к этому предрасположен. А предрасположен он потому, что эти представления оказались наиболее полезными и способность к их формированию была отобрана в процессе эволюции. Например, представление о трехмерном пространстве необходимо для того, чтобы совершать прыжки с дерева на дерево.

Но возникает вопрос, уникальны ли такие представления. Может ли существовать мозг, воспринимающий реальность столь же успешно, но в субъективном плане каким-то иным способом? Получить частичный ответ на этот вопрос можно, изменив до некоторой степени состояние нашего мозга и наблюдая за тем, как это влияет на наше восприятие реальности.

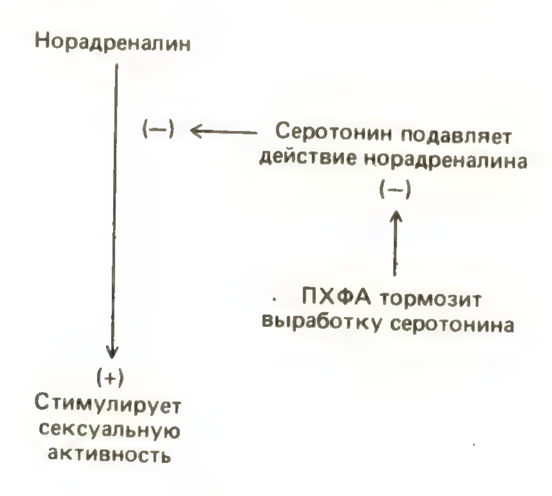
"Перенастройка" мозга

Во всех синапсах между нейронами мозга передача сигнала от одного нейрона к следующему осуществляется примерно одинаково: происходит выброс нейромедиатора, который либо активирует, либо тормозит следующий нейрон. Однако в различных частях нейронной сети действуют медиаторы разного типа, поэтому можно облегчить или затруднить передачу сигналов дифференцированно в отдельных участках мозга с помощью фармакологически активных веществ. Мозг можно уподобить огромной сети, погруженной в ванну с раствором различных веществ, от которых зависит,будут ли те или иные синапсы пропускать сигналы. Изменяя состав раствора в ванне, можно изменять и работу самой сети.

Афродизирующие средства

Поразительный пример таких изменений — действие афродизирующих веществ, или сексуальных возбудителей. В мозгу существует особая нейронная сеть, которая активизирует половое поведение. Для успешного выживания вида необходимо, чтобы эта сеть действовала не всегда, а лишь в определенное время. Это обеспечивают особые вещества, из которых одни повышают, а другие понижают чувствительность определенных синаптических соединений.

В упрощенном виде эту регуляторную систему можно представить следующим образом:



Сеть приходит в более активное состояние под действием вещества, называемого норадреналином, который родствен адреналину — гормону надпочечников. Другой гормон, серотонин, снижает активность, блокируя действие норадреналина. В норме относительная пропорция активирующего и тормозящего веществ такова, что сексуальная активность бывает вполне достаточной, но не чрезмерной.

Вещество, называемое ПХФА (парахлорфенилаланин), блокирует выработку серотонина. Введенный крысам ПХФА снижает концентрацию серотонина в мозгу, так что упомянутая выше сеть становится доминирующей и сексуальная активность животных резко возрастает. Другое сходное вещество, паргилин, блокирует шишковидную железу (эпифиз) и, если впрыснуть его вместе с ПХФА, вызывает дальнейшее снятие торможения, что приводит к вспышке бешеной сексуальной активности, длящейся часами, когда животные кучами спариваются без разбора. Но если теперь ввести серотонин, активность уже через несколько минут прекратится. Сходный афродизирующий эффект можно продемонстрировать на кроликах и людях.

Любопытно, что хотя известно множество средств, якобы усиливающих половую активность, — от устриц до рога носорога (весьма популярного среди арабов), только ПХФА и паргилин оказывают реальное действие.

Анальгетики и опиаты

Другая категория психотропных агентов — это анальгетики, вещества, снижающие восприятие боли. К ним относятся, в частности, аспирин и опиаты.

Первым из известных опиатов был, по-видимому, опиум — высушенный сок белого опиумного мака. Как поведал нам Гомер, Елена Троянская, из-за красоты которой пускались в путь бесчисленные суда и падали высочайшие башни Илиона (Трои), угощала чем-то похожим на опиум Телемаха, сына Одиссея, во время его визита в Спарту.

"Елена, дочь Зевса, между тем придумала нечто интересное. В сосуд, где было смешано их вино, она положила снадобье, которое могло лишить горе и гнев их жалящей силы и прогнать все тяжелые воспоминания. Всякий, проглотивший то, что было растворено в вине, не смог бы пролить в тот день ни единой слезинки — даже при виде смерти своих отца и матери, и даже если бы его брат или собственный сын пал от меча в его присутствии". Это мощное зелье было одним из полезных средств, которые дала дочери Зевса знатная египтянка Полидамна, жена Тона. Ибо плодородная почва Египта богата травами, многие из которых полезны в настоях, хотя многие и ядовиты. В медицинских познаниях египтяне оставили далеко позади весь остальной мир[1].

Активный компонент опиума был выделен в 1803 г. немецким химиком Сатурнером, который назвал его морфином по имени Морфея — бога сновидений. Как и говорит Гомер, морфин действительно вызывает чувство общего благополучия (эйфорию); он может также вызывать сонливость и служит мощным анальгетиком — подавляет болевые ощущения. В связи с этим многие

---

[1]Многие земные мужчины становились небожителями, но у Елены направление движения было обратным. Первоначально это была второстепенная богиня растений и плодородия, особенно почитаемая в Спарте, где с древних догомеровских времен существовал обычай, частью которого было похищение ее изображения. Постепенно она становится женщиной, которую похищает Парис и которая проводит с ним в Трое 9 лет адюльтера. Возвращаясь в Спарту со своим мужем Менелаем, Елена заезжает в Сидон и Египет. Многие авторы после Гомера пытались спасти ее репутацию историей о том, что троянцы похитили лишь ее изображение, но Гомер возлагает всю вину за случившееся на Афродиту.

Греки обыкновенно смешивали воду и вино в пропорции 3:1, иногда 8:1 и даже больше. Это было необходимо потому, что многие их вина содержали травы и другие вещества, в том числе иногда и опиаты и психотропные средства. Поэтому пить такое вино неразбавленным было опасно. Сегодня примером подобных вин служат рецина и вермут. Последний ныне разводят не водой, а более приятным на вкус виски, получая таким образом коктейль.

считают морфин, более всех других лекарственных препаратов, величайшим благом для человечества.

Действие морфина

Долгое время мы ничего не знали о том, каков механизм действия опиатов, но в начале 1970-х годов было обнаружено, что клетки головного мозга и некоторых других тканей имеют рецепторы, связывающие морфин, и только в таком связанном виде он становится активным. Рецепторы морфина есть в мозгу всех позвоночных от миксин до человека, но их нет у беспозвоночных. Казалось, однако, маловероятным, что эти рецепторы могли развиться специально для связывания опиатов, которые встречаются лишь в немногих растениях и с которыми животные могли сталкиваться крайне редко. Поэтому возникло подозрение, что функция этих рецепторов состояла в связывании не морфина, а каких-то сходных с ним веществ, обычно присутствующих в организме. И действительно, такие вещества были выделены и получили название "эндорфинов" (сокращение от "эндоморфины"; *эндо* по-гречески означает "внутренний").

Эндорфины — это небольшие пептиды, т. е. цепочки из нескольких аминокислот. Здесь эти цепочки сложены так, что образуют трехмерную структуру, чем-то напоминающую морфин, поэтому рецепторы и связывают их. Подобно морфину, эндорфины действуют как анальгетики, уменьшая болевые ощущения, хотя их действие, вероятно, не сводится только к этому. В целом их следует рассматривать как медиаторы определенных типов синапсов между нейронами, а также как гормоны, регулирующие нервную активность.

Наркомания

В отличие от широко распространенного анальгетика аспирина морфин и некоторые другие вещества могут вызывать пагубное пристрастие к ним. При их длительном употреблении в клетках мозга и некоторых других клетках происходит перестройка метаболических процессов, в результате которой более или менее нормальное функционирование клетки в отсутствие наркотиков становится невозможным. Поэтому при непоступлении опиатов в организм развивается так называемый абстинентный синдром, а также общее нарушение физиологических функций, иногда приводящее к летальному исходу. Эта перестройка клеточного метаболизма но-

сит длительный характер, так что даже после долгого воздержания от наркотика потребность в нем может сохраняться. С другой стороны, можно было бы сказать, что все мы в норме имеем пристрастие к эндорфинам, без которых могли бы развиться еще более серьезные симптомы.

Продолжительное употребление опиатов, несомненно, оказывает вредное воздействие как на психику, так и на физиологические функции. В теории, а отчасти и на практике возможен биохимический подход к проблеме наркомании: можно создавать морфиноподобные соединения, которые будут связываться рецепторами морфина и таким образом препятствовать присоединению к ним морфина или других опиатов. Это поможет избавиться от маниакального пристрастия к наркотикам и, если созданный заменитель окажется безвредным, позволит устранить вредное воздействие опиатов. Был найден ряд веществ, свойства которых действительно приближаются к желаемым, однако все они оказались далеки от идеала. Серьезное затруднение, как выяснилось, связано с тем, что эти блокаторы сами в большей или меньшей степени становятся нужными организму. Но и это уже улучшение: вы заменяете потребность в более вредном препарате потребностью в менее вредном. Тем не менее многие возражают против таких блокаторов, поскольку считают предосудительным пристрастие к чему бы то ни было независимо от его вредности.

Психотропные препараты

Морфин и его производные оказывают лишь незначительное влияние на наше восприятие мира, но имеются вещества с гораздо более сильным действием. Препараты, изменяющие восприятие, называются психотропными; в большинстве своем это алкалоиды, часто их вырабатывают грибы. Термин "алкалоид" не имеет точного химического значения: так называют сложные азотсодержащие вещества биологического происхождения, обычно производные аминокислот. Ниже приводятся несколько примеров.

Буфотенин

В Сибири и, вероятно, в других северных регионах особой популярностью пользовался мухомор, *Amanita muscaria*. Активное вещество в нем — алкалоид буфотенин, названный так потому, что он был впервые найден в коже жаб (*Bufo*). Поскольку мухоморы растут не везде (много их, например, на Камчатке), они были

важным объектом торговли и иногда, при их нехватке, могли цениться очень высоко — за один сушеный мухомор давали северного оленя. Жители Сибири обнаружили, что у человека, съевшего мухомор, активное вещество выводится с мочой, и поэтому сохраняли мочу для питья. Люди победнее выпрашивали ее у богатых. К сожалению, после нескольких "оборотов" моча теряла свою силу. Буфотенин вызывает чувство эйфории и различные видения, которым часто придавали религиозный и магический смысл. В Сибири использование этого алкалоида, по-видимому, прекратилось в прошлом веке, но оно возродилось в небольших масштабах в США. Здесь лизали жаб или же пили отвар из их кожи.

Псилоцибин

Когда-то в Мексике и Центральной Америке в религиозных церемониях широко использовались грибы рода *Psilocybe*, содержащие галлюциногенный алкалоид псилоцибин. Он воздействует так же, как ЛСД или галлюциноген мескалин, но несколько слабее, и его эффект проходит намного быстрее. Ацтеки называли эти грибы "теонанакатль", или плоть Бога. Первые письменные упоминания о них встречаются в описаниях коронации ацтекского императора Монтесумы в 1502 г. По этому случаю грибами были обеспечены жители Теночтитлана (ныне Мехико), многие из которых после их употребления совершали самоубийство, тогда как другие пророчили будущее. Этот гриб давали также пленникам, приносимым в жертву богам, так как они тогда с охотой шли на смерть, а добровольная жертва в теологическом смысле считалась более ценной.

Психологическое воздействие психотропных препаратов

Психотропные препараты вызывают явления троякого рода: 1) особые эмоциональные состояния, иногда очень приятные, иногда устрашающие; 2) галлюцинации, в основном зрительные, часто необычайно красочные; 3) новые, необычные формы восприятия.

Из этих явлений, несомненно, наиболее интересны новые формы восприятия; в основном именно из-за них психотропные средства привлекали особое внимание на протяжении всей нашей истории. Эти эффекты непередаваемы; иными словами, тому, кто их не испытал, их нельзя описать иначе как метафорически, подобно тому как нельзя передать ощущение красного цвета человеку, слепому от рождения. К счастью, подходящие метафоры были все же найдены людьми, способными четко формулировать свои мысли, особенно Олдосом Хаксли в его книге "Двери восприятия".

Отмечается общее усиление качества зрительного восприятия; например, цветовые ощущения приобретают новые, более тонкие оттенки. Нередко происходит смешение сенсорных модальностей: цвета воспринимаются на слух, а звуки — зрительно, т. е. возникает род синестезии. При сохранении ясности сознания утрачивается чувство собственной личности. Короче говоря, человек начинает видеть мир по-новому, отсюда и выражение "средства, раздвигающие разум", как кто-то назвал психотропные препараты. Как уже говорилось, подобные психические состояния нередко играли роль в религии как якобы открывающие доступ к священным сторонам реальности. Так, один мексиканский шаман описывает свой гриб как "уносящий туда, где пребывает Бог".

Мистический опыт

Существует особое состояние психики, называемое мистическим сознанием. Оно имеет много общего с тем, к которому приводит воздействие психотропных препаратов, но возникает "спонтанно", т. е. без химических стимуляторов. Оно тоже было описано Олдосом Хаксли в его "Вечной философии" ("The Perennial Philosophy"). Для мистического опыта характерны следующие главные элементы:

1) Единство: внешний и внутренний мир как бы образуют одно целое. Чувство личности теряется, хотя сознание остается.

2) Трансцендентальность времени и пространства. Человек "пребывает в вечности и бесконечности", так как ощущение хода времени исчезает и местонахождение неопределенно.

3) Трансцендентальность обычной реальности. Возникает непосредственное ощущение, что получаемый опыт не есть искажение обычной действительности, но более глубокое проникновение в нее.

4) Человек пребывает в приподнятом состоянии духа и часто испытывает благоговейный трепет, непосредственно ощущая "внутреннюю сущность вещей".

5) Действительность становится парадоксальной при попытке вместить ее в рамки обычного опыта и логики. Так, "я" существует и не существует; время идет и стоит на месте.

Мистическое сознание обычно возникает лишь временами, иногда всего один раз в жизни, но и в этом случае оно часто оставляет после себя сдвиг во всем мироощущении тех, кто его испытал. У "великих мистиков", однако, оно может появляться все чаще и чаще, пока не становится обычным состоянием сознания.

Мистическое сознание приходит в результате душевных усилий,

направленных на то, чтобы глубже проникнуть в суть вещей, и носит более или менее религиозный характер. Иногда, чтобы достичь его, люди практикуют пост, дыхательные упражнения и умерщвление плоти, однако Будда, среди других, отвергал эти способы, испытав их на себе. "Истинные" мистики достигают желаемой цели путем психологического самовоспитания и бескорыстной доброжелательности, не прибегая к химическим средствам. Тем не менее существуют явные черты сходства между мистическим сознанием и тем состоянием, которое вызывается галлюциногенами.

Элевсинские мистерии

Псилоцибин и "сома", бывшая, как теперь считают, обыкновенным мухомором, несомненно, играли важную роль в религиозных ритуалах в Центральной Америке и древней Индии. Некоторые психотропные средства, если верить новейшим выводам, лежали в основе важной религиозной традиции, некогда существовавшей в Греции, — "Элевсинских мистерий".

Миф, лежащий в основе этого ритуала, достаточно сложен. Упрощенно он выглядит так: похищенная Гадесом Персефона возвращается каждый год на девять месяцев к своей матери Деметре. Это символическое повторение времени года и, что более важно, служит также символом и гарантией воскресения.

В сентябре каждый год "мистои" ("мистики") после предварительных обрядов посвящения отправлялись грандиозной процессией к храму Деметры в Элевсине, расположенному в 14 милях от Афин. В ней принимали участие торговцы, работники, художники, писатели, проститутки и императоры. Рассказывать, что происходило возле храма, строжайше запрещалось, поэтому до нас дошли лишь отрывочные сведения, но если верить словам высокоинтеллектуальных участников мистерии, это не было только сценическое действо. Персефона и многие другие появлялись перед мистиками в непередаваемом виде: свет был звуком и звук светом, так что все участники преображались, или как бы рождались заново.

Вот как пишет об этом Софокл: "Трижды счастливы те из смертных, кто видел церемонию отбытия в царство теней; лишь для них одних уготована там истинная жизнь. Для остальных это одно лишь зло".

По Гомеру, душа после смерти отправляется в Гадес, но лишается своей силы, способности говорить и едва пребывает в сознании, если вообще его сохраняет. Очевидно, одна из целей Элев-

синских мистерий состояла в возвращении душе этих способностей даже и после смерти.

К ужасу многих классицистов этномиколог Р. Вассон, швейцарский химик А. Хофман (первым синтезировавший ЛСД) и ученый-классик А. Рук убедительно доказывали, что видения в Элевсине возникали под действием психотропных средств. Если так, то они приносили душевное спокойствие и радость многим людям на протяжении 2000 лет. Однако все имеет конец, и в IV веке н. э. храм Деметры был разрушен христианами, имевшими несколько иные представления о воскресении.

Реальное и нереальное

Мы склонны считать наши "нормальные" формы восприятия "истинным" восприятием действительности, а формы, возникающие под действием психотропных препаратов, и мистическое сознание — в некотором смысле искаженными. Вкратце, критерий, которым мы пользуемся для различения реального и нереального, состоит в том, согласуются ли наши ощущения друг с другом и приводят ли они к ожидаемым результатам. Когда мы видим гамбургер, мы протягиваем руку и кладем его в рот; получив ожидаемое вкусовое ощущение и т. д., мы заключаем, что гамбургер реален. Это мнение укрепляется, если окружающие тоже подтвердят, что видели, как мы ели гамбургер. Если же, потянувшись за ним, мы его не получим, так как он растает в воздухе, то, значит, это галлюцинация.

Таким образом, одно-единственное ощущение не может быть "истинным" или "ложным", но эти слова приобретают смысл, когда речь идет о группе ощущений. Если между ними есть внутренняя связь, то они "подлинные", если нет, то "фальшивые". Это, кажется, ясно.

Но что сказать тогда о свойстве красного цвета? Если мы видим его как-то по-новому, например как цвет, прежде нам не встречавшийся, это может и не нарушить внутренней связи, а стать лишь альтернативным способом ви́дения красного цвета. В истинно мистическом состоянии может не возникать искаженной картины того, что обычно называют реальностью. Человек по-прежнему вполне способен сажать картошку, водить машину, решать математические задачи и заниматься любым другим делом, хотя, конечно, интерес к одним занятиям может угасать, а к другим — возрастать. Поэтому, возможно, мистик и прав, утверждая, что его видение лишь помогает лучше понять то, как вещи "действи-

тельно" выглядят. Объективных причин говорить, что он воспринимает действительность "неверно", нет, и поскольку все хорошо согласуется, можно сказать, что он просто видит ее по-иному. То же самое может быть справедливо и в отношении некоторых, хотя, конечно, не всех состояний сознания, вызываемых действием психотропных средств.

Подведем итоги. Эффекты от психотропных веществ подтверждают и углубляют идею, высказанную Кантом. Мы привносим определенные "категории", или модальности, в наше чувственное восприятие, особенно в его интерпретацию. Следовательно, то, каким представляется нам мир, зависит от того, какой тип нервной системы нам случилось иметь. Если мы хотя бы слегка изменим свою нервную систему, окружающий мир для нас тоже изменится. И если новые способы ви́дения не приводят к внутренним противоречиям, у нас нет причин отдавать предпочтение тому или иному способу.

Глава 26

Приматы

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Человек входит в отряд приматов, главная особенность которого — наличие "настоящей" руки, имеющейся только у них. Большой палец такой руки может поворачиваться и противопоставляться другим пальцам, а сама рука способна как к силовому, так и к "точному" (прецизионному) захвату. Первоначально пальцы контролировались как одно целое, но в дальнейшем развивается индивидуальное управление ими, начиная с большого пальца и далее кнаружи. Этот тип руки сделал возможной эволюцию человека.

В те времена, когда Африка все еще оставалась совсем обособленным континентом, древние приматы — просимии — эволюционировали в двух направлениях: в сторону Cercopithecoidea, или низших обезьян, и Hominoidea, или человекообразных обезьян. Некоторые из африканских человекообразных обезьян приспособились к жизни в более открытой местности и примерно 5 млн. лет назад дали начало роду *Australopithecus* — непосредственному предшественнику человека. Австралопитек был уже вполне похож на человека, он передвигался на двух ногах, освободив руки для других нужд, в первую очередь для использования предметов в качестве орудий. Но мозг у него все еще был не очень большим, а зубы и челюсти гораздо крупнее наших. По-видимому, именно в связи с употреблением орудий создалось давление отбора в пользу развития интеллекта, так что в линии австралопитек → современный человек размеры мозга постепенно увеличивались.

Сложность поведения, включая и "интеллект", зависят отчасти от соотношения между величиной мозга и размерами тела. Это соотношение выше у животных с более сложным поведением, например таких, которые перемещаются в трех, а не в двух измерениях, и выше всего у человека. Важны и абсолютные размеры мозга, но наибольшую роль играет его организация, поэтому в пределах одного вида, как, например, у человека, нет корреляции между размерами мозга и "интеллектом".

Около 2,3 млн. лет назад из группы австралопитеков выделился *Homo erectus* — древнейший вид человека. Он первым начинает изготовлять каменные орудия и пользоваться огнем.

Теологи, человекообразные обезьяны и человек

То, что обезьяны больше других животных похожи на человека, не смущало древних, которые воспринимали единство всех живых форм как нечто само собой разумеющееся, как проявление общего устройства Природы. У египтян павианы были священными животными, связанными с луной; индусы и по сей день с почтением относятся к обезьянам.

Но в Средние века на Западе развивается совершенно иная традиция, представленная иудаизмом, христианством и исламом. Согласно этой традиции, между человеком и Природой существует глубокий разрыв, так же как между Природой и Богом. Бог трансцендентен, т. е. находится за пределами созданного им, и человек тоже не составляет в действительности часть природы. Он уникален в теологическом и моральном смысле. Природа была создана, чтобы служить для человека своеобразным фоном; от природы человек ожидает милостей, но по отношению к ней не чувствует никакой ответственности. Поэтому не могло и не должно было существовать никакого реального сходства между человеком и другими животными.

При таких убеждениях средневековые теологи питали почти нездоровый интерес к проблеме очевидных поведенческих и анатомических параллелей между обезьянами и человеком. Проблема осложнялась предполагаемым существованием различных "почти людей", например созданий с человеческим телом и собачьей головой или "полулюдей-пигмеев", якобы населяющих отдаленную Эфиопию (рис. 26-1). В Средневековье полагали, что человекоподобные существа не были частью первоначального творения; это потомки тех людей, которые превратились в обезьян и им подобных из-за собственных грехов или грехов своих прародителей.

Возникал ряд трудных теологических вопросов. Есть ли у этих сильно напоминающих человека созданий бессмертная душа или они ее лишены? Здесь заключена реальная проблема, которая в

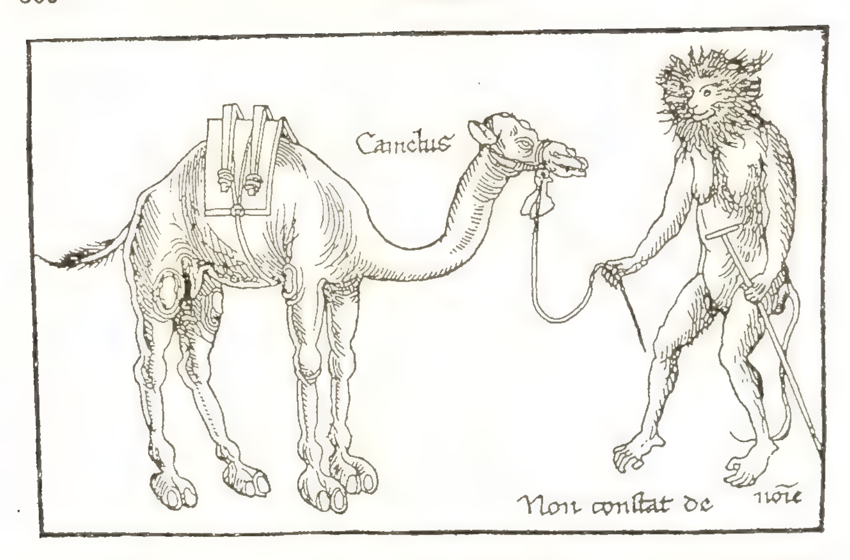


Рис. 26-1. Воображаемый примат-получеловек из книги Брейденбаха (1486). Он явно способен пользоваться орудиями и, видимо, приручил верблюда.

слегка измененном виде до сих пор стоит перед нами: по отношению к каким существам мы имеем моральные обязательства? При какой степени умственной дефективности особи, наделенные человеческой формой тела, перестают быть личностями? Еще одна проблема: если кровообращение все еще продолжается, а мозг уже умер, то человек ли это, которому нужно помогать, или следует отключить аппаратуру? Вопросы не теряют своей актуальности, несмотря на древность их истоков.

Но вернемся к Средневековью. Тот факт, что человекоподобные создания анатомически чем-то отличаются от нас, не был достаточен для решения вопроса, беспокоившего теологов. Св. Августин (354–430), епископ из Гиппона, пришел к весьма дальновидному заключению, что все сколько-нибудь разумные существа, независимо от их материальной оболочки, наделены душой (в качестве примера он упоминал ангелов). Здесь опять-таки, если мы заменим слово "душа" словом "личность", утверждение св. Августина будет с одобрением воспринято и в наши дни. Мы вполне готовы признать, что и внеземные существа, будучи разумными, могут обладать личностными свойствами, хотя и не ожидаем анатомического сходства их с человеком. Таким образом, для средневе-

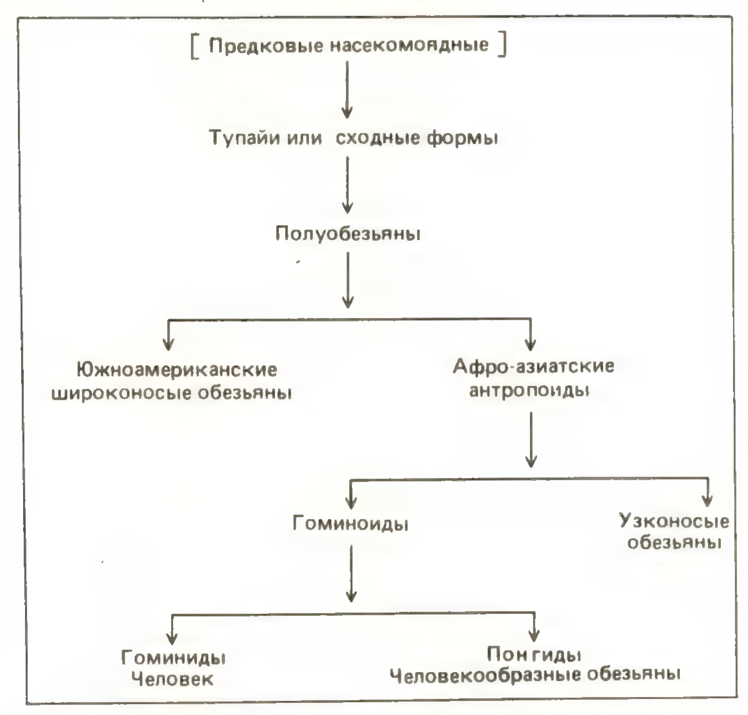
ковых теологов основная проблема состояла в том, чтобы решить, "разумны" ли человекоподобные создания.

К счастью, этот вопрос был разъяснен крупнейшим теологом и философом св. Альбертом Великим (1206–1280), учителем св. Фомы Аквинского (1225–1274), часто называемого "ангельским доктором". Согласно Альберту, существуют не две, а три категории живых существ: люди, человекоподобные создания и животные. Последние не имеют разума, а значит, и души, так что проблем с ними не возникает. Но человекоподобные создания тоже не обладают разумом. Человекообразные обезьяны, по мнению св. Альберта, реагируют только на непосредственные чувственные впечатления, и хотя они способны подражать другим, но учиться они не могут. "Пигмеи" из далекой Эфиопии могут обучаться, но не способны иметь дело с абстракциями. Поэтому человекообразные обезьяны имитируют "пигмеев", а "пигмеи" — людей: так возникает иллюзия, будто человекообразные обезьяны подражают человеку. И поскольку все "человекоподобные создания" лишены способности оперировать абстракциями, ни "пигмеи", ни человекообразные обезьяны не являются по-настоящему разумными. Из этого следует, что у них нет бессмертной души: глубокая пропасть между человеком и остальными творениями сохраняется, и все оказывается в порядке.

Мы сейчас знаем о поведении животных и человека намного больше, чем знал Альберт Великий. Его представление о том, что обезьяны не способны обучаться, явно противоречит фактам: современные психологи тратят много времени, изучая процессы научения даже у крыс. Мы знаем также, что способность оперировать абстракциями свойственна не только человеку. Но главная причина, почему мы ныне рассматриваем отношения между обезьянами и человеком под несколько иным углом зрения, состоит в том, что мы знаем о постепенном эволюционном переходе между этими двумя формами.

Отряд приматов

Мы относимся к отряду приматов класса млекопитающих. В состав отряда входят также низшие и человекообразные обезьяны и некоторые более примитивные формы (рис. 26-2). Современных приматов и их предков можно представить как ряд ступеней, в целом соответствующих ходу их эволюции:



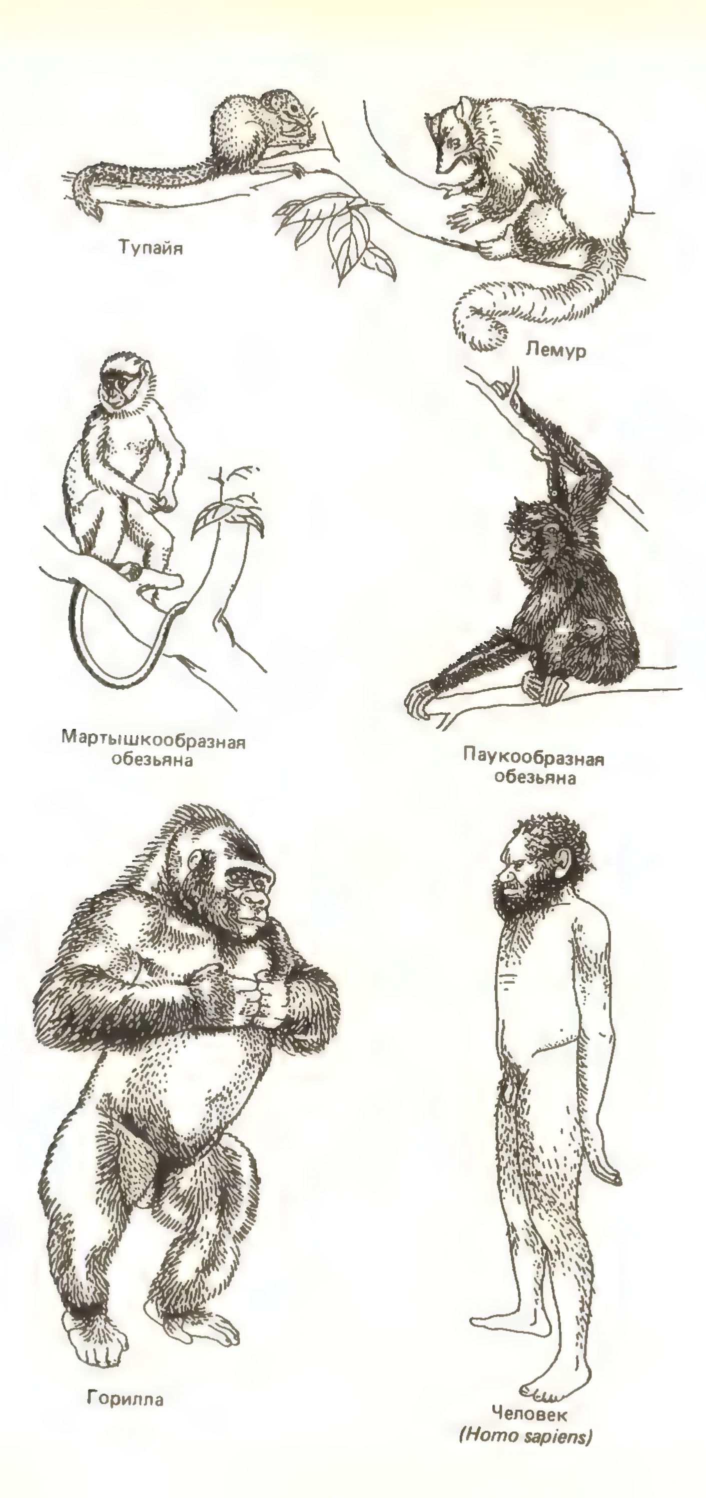
1. Насекомоядные — это еще не приматы, но группа, из которой развивались другие современные млекопитающие. Из живущих ныне представителей назовем землероек, кротов и ежей. Некоторые насекомоядные начали эволюционировать в приматов в конце мелового периода, 65 млн. лет назад, когда вымерли динозавры.

2. Тупайи (семейство Tupaiidae) живут в Индии и Юго-Восточной Азии. Они ведут древесный образ жизни, похожи на белок, но более грациозны в движениях. Некоторые авторы относят их к насекомоядным, но, как бы то ни было, тупайи обнаруживают тенденцию эволюционировать в направлении приматов и дают нам живой пример того, как, в общих чертах, могли выглядеть предки приматов.

3. К концу палеоцена, 58 млн. лет назад, сформировалась следующая ступень — просимии, или "полуобезьяны"; их предста-

---

Рис. 26-2. Различные приматы. Паукообразная обезьяна относится к числу американских форм. Горилла передвигается на четырех конечностях, но иногда встает во весь рост, как это изображено здесь.


Тупайя
Лемур
Мартышкообразная обезьяна
Паукообразная обезьяна
Горилла
Человек (*Homo sapiens*)

вители живут до сих пор, образуя довольно разнородную группу лемуров, лори, галаго и долгопятов в Африке и Южной Азии. Некоторые из ранних полуобезьян были предками низших и человекообразных обезьян.

4. В Южной Америке полуобезьяны независимо эволюционируют в обезьян. Это обезьяны Нового Света, или широконосые (Platyrrhini).

5. Но главные эволюционные события происходят в Африке и Азии. Возникает группа, включающая низших обезьян, человекообразных обезьян и человека, которую обычно относят к подотряду Anthropoidea. Одна из ветвей антропоидов — это "настоящие обезьяны", или узконосые (Catarrhini). Другая — надсемейство Hominoidea, позднее разделившаяся на две группы:

а) семейство Pongidae — человекообразные обезьяны, приспособившиеся к жизни в лесу, из которых дожили до наших дней горилла, шимпанзе, орангутан и гиббоны;

б) семейство Hominidae, адаптировавшееся к более открытой местности. Сюда относятся человек и его непосредственные предки, а также ближайшие родственники по боковой линии — австралопитеки, ныне вымершие.

Формальное определение отряда приматов

По техническим соображениям зоологи стараются дать каждому отряду формальное определение, указав такие признаки, которые свойственны всем видам этого отряда, но не встречаются в том же сочетании у представителей какого-либо другого отряда. Это не всегда легко, но с приматами особых затруднений не возникает. Ниже мы приводим принятое формальное определение отряда приматов (в скобках даются некоторые пояснения).

"Плацентарные (не сумчатые или яйцекладущие) млекопитающие, имеющие ногти, с хорошо развитыми ключицами, с глазницами, окруженными костным кольцом; имеют зубы трех типов (резцы, клыки и премоляры) по крайней мере в определенный период (у млекопитающих бывают "молочные" и "постоянные" зубы); головной мозг всегда с задней долей и шпорной бороздой; пальцы внутренней стороны (большие) по крайней мере на одной паре конечностей противопоставляются остальным; большой палец на ноге с плоским ногтем или без него; хорошо развита слепая кишка (в начале толстого кишечника); половой член свисающий (не втянутый и не прикрепленный в части своей длины к животу); яички в мошонке (не внутри тела, как у китов); всегда две грудные железы (две молочные железы на груди)".

Очевидно, что человек хорошо соответствует этому описанию и, следовательно, принадлежит к отряду приматов.

Рука

Приведенное выше определение, как и другие ему подобные, довольно удачно, хотя не все приматы в точности ему соответствуют. Но оно не говорит нам, в чем сущность приматов: это всего лишь дифференциальный диагноз, включающий достаточное число признаков, чтобы можно было отличить примата от представителей других отрядов. Некоторые из перечисленных признаков с биологической точки зрения весьма тривиальны.

Основная адаптация приматов, имеющая биологическое значение и характерная именно для этого отряда, — это строение руки, которая способна хватать предметы и манипулировать ими. Как летучие мыши относятся к "отряду крыла", а киты — к отряду "рыбообразных форм", так приматы образуют "отряд руки".

Рука — самая универсальная из многих других адаптаций млекопитающих. Хотя исходно она выработалась для того, чтобы живущие на деревьях приматы могли хвататься за ветви, она пригодна также для использования и изготовления орудий. Именно "настоящая рука" сделала возможной эволюцию человека.

У многих приматов рукой может служить и то, что мы обычно называем ногой. Но у человекообразных обезьян нога (стопа) лучше приспособлена для передвижения, а наша собственная ступня практически непригодна для захватывания предметов и манипулирования ими.

С точки зрения движения пальцев рука (кисть) бывает двух типов.

"Конвергентной" кистью называется такая, у которой все пальцы при сгибании движутся к ладони, располагаясь рядом. Когда они выпрямлены, то образуют как бы веер. Важно то, что значительной разницы между большим пальцем и остальными нет. Животные, обладающие такой кистью, например белки, обычно хватают пищу двумя руками. У тупай большой палец до некоторой степени отведен в сторону (т. е. при сгибании он не в точности сходится с кончиками других пальцев). Поэтому тупайи в отличие от белок хватаются за веточки при лазании по деревьям одной рукой и могут даже забрать таким образом предмет, хотя делают это редко.

Второй тип — "хватательная" кисть — это и есть "настоящая рука" (рис. 26-3), типичная для приматов и только у них встре-

чающаяся. Большой палец здесь движется таким образом, что он противостоит остальным пальцам. Животные с хватательной кистью обычно берут пищу, пользуясь только одной рукой. В хватательной кисти более примитивного типа большой палец может двигаться только в одной плоскости; в этом случае говорят о псевдо-противопоставлении. Полуобезьяны и южноамериканские обезьяны обладают кистью с псевдо-противопоставленным большим пальцем.

Один из представителей полуобезьян — галаго — с его псевдопротивопоставленными большими пальцами хорошо иллюстрирует промежуточное состояние между типичным для млекопитающих использованием рта для манипулирования предметами и типичным для приматов употреблением рук. Когда нужно перенести детеныша, мать пользуется ртом, но сам детеныш использует руки, чтобы ухватиться за мать. Стоит упомянуть, что малыши лемуров сосут большие пальцы. Руками пользуются также, чтобы поднести пищу ко рту, и это еще более характерно для других полуобезьян, например лориевых. Даже для того, чтобы напиться, полуобезьяны часто мочат в воде пальцы, а потом облизывают их. Руки употребляют и во время игры: в неволе одна из любимых, хотя и довольно бессмысленных, игр состоит в попытках протаскивать предметы через отверстия, которые слишком малы для этого.

Обезьяны Старого Света, человекообразные обезьяны и человек обладают истинно противопоставленными большими пальцами, способными не только двигаться в одной плоскости, но и поворачиваться.

Управление кистью

Важное значение имеет не только анатомия кисти, но и контроль над ней. У животных с конвергентной кистью пальцы движутся как единое целое. У приматов раздельное управление пальцами, очевидно, началось с большого пальца и распространялось постепенно на остальные по направлению кнаружи.

У более примитивных групп — полуобезьян и южноамериканских обезьян — четыре пальца движутся вместе как единое целое, но отдельно от большого пальца. Кроме того, эти группы не обладают тонкими (по нашим стандартам) тактильными ощущениями в пальцах. Однако низшие обезьяны, такие как павиан, могут отдельно управлять указательным пальцем, а может быть, и всеми остальными. Человекообразные обезьяны и человек, конечно же, способны управлять каждым пальцем в отдельности, хотя у первых контроль менее совершенный, чем у человека.

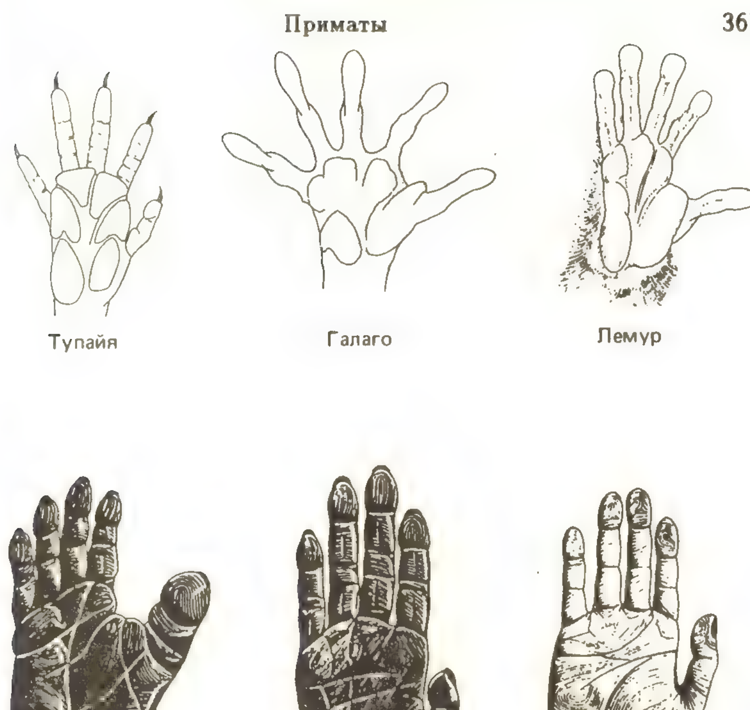


Рис. 26-3. Кисти низших приматов, шимпанзе и человека (и для сравнения стопа шимпанзе). Тупайи все еще имеют на пальцах когти, а не плоские ногти. Большой палец у них в функциональном отношении очень мало отличается от остальных. У полуобезьян большой палец может двигаться в одной плоскости, а у шимпанзе и человека — также и поворачивается. Обратите внимание, что стопа шимпанзе мало чем отличается от его кисти.

Захват

Руке свойственны два главных типа захвата (рис. 26-4). В отношении контроля проще силовой захват, когда четыре пальца прижимают предмет к ладони, а большой палец давит с другой стороны. В этом случае предмет удерживается с максимальной силой в своеобразных тисках. Другой тип захвата — точный, или




Рис. 26-4. Слева — силовой, справа — "прецизионный" (точный) захват предмета рукой человека. У шимпанзе функциональные возможности кисти почти так же разносторонни, как у человека.

"прецизионный": здесь предмет удерживают кончиками большого и остальных пальцев. Такой зажим требует не столько силы, сколько точного управления.

С управлением связан и так называемый "рисунок захвата". У человека и других высших приматов рука, приближаясь к предмету, приспосабливает положение пальцев к его форме еще до того, как коснется его, в связи с чем "рисунок" варьирует. У полуобезьян он остается неизменным, так как конфигурация приближающейся кисти всегда одна и та же. Сначала кисть раскрывается, затем раскрытая ладонь прижимается к предмету, и наконец его обхватывают сгибающиеся пальцы. Эта неизменность захвата иногда вызывает затруднения. Если пища находится позади проволочной сетки, галаго вначале раскрывает ладонь и пытается в таком положении просунуть руку через сетку. Если ячейки слишком малы, рука, естественно, не проходит. После 5–20 попыток животное научается вначале сжимать руку, а раскрывать уже только просунув через сетку. Но дрожание руки и ряд других признаков показывают, что даже такая незначительная адаптация очень неестественна и трудна для галаго.

Все эти подробности дают некоторое представление о длине эволюционного пути, который прошла рука, прежде чем смогла играть на фортепиано.

Линия человека

В олигоценовую эпоху, около 35 млн. лет назад, Африка представляла собой континент, полностью окруженный водой; именно здесь проходила эволюция некоторых групп полуобезьян, давшая две более развитые группы: Hominoidea (человекообразные обезьяны) и Cercopithecoidea (низшие обезьяны). Гоминоиды обладали в общем более крупным мозгом и более высоким интеллектом по сравнению с низшими обезьянами; и с течением времени эти различия становились все больше.

Когда Африка все еще была изолированным континентом, человекообразные обезьяны достигли стадии, представленной дриопитеком (*Driopithecus*) — древесным существом, чем-то по-прежнему напоминавшим низших обезьян. Между тем Африка продолжала дрейфовать к северо-востоку, и в позднем миоцене, около 16 млн. лет назад, "раздался громкий треск": она столкнулась с Евразийской материковой массой. Человекообразные обезьяны типа дриопитека быстро освоили новые земли и заселили леса более теплых частей Азии и Европы. Климат, однако, менялся, и большая часть лесов, в том числе и в Африке, сменилась лугами или более открытой местностью с редкими деревьями, окруженными травой. Как в Африке, так и в Азии некоторые из человекообразных воспользовались этой средой обитания и дали несколько вариаций на одну тему, что привело в Африке к появлению ряда человекоподобных существ, включая австралопитековых, а в конце концов и самого человека.

Мы не знаем, которая из человекообразных обезьян, обитавших на открытой местности, действительного дала начало линии человека, но это, может быть, не так уж важно, поскольку разные виды были во многим сходны между собой. В настоящее время предпочтение отдается кандидату, называемому *Ramapithecus* и жившему около 12 млн. лет назад (рис. 26-5). Его ископаемые остатки обнаружены в Индии и Африке, хотя все древнейшие этапы эволюционного пути, ведущего к человеку, по-видимому, проходили только в Африке.

Зубы и челюсти рамапитека были гоминидного типа, намного менее прогнатные (выступающие вперед), чем у типично современных человекообразных обезьян. Поскольку клыки у него сильно редуцированы, утверждалось, что их функция должна была восполняться чем-то еще, и это могла быть только пара рук, используемая для собирания и разрывания пищи. И если рамапитек действительно широко пользовался руками, то он, возможно, употреблял и орудия, если даже не изготовлял их. Возле озера Виктория

в Центральной Африке в миоценовых отложениях возрастом около 20 млн. лет были найдены сломанные кости и камень со следами износа; предполагают, что какая-то похожая на рамапитека человекообразная обезьяна использовала камень, чтобы сломать кости и добыть мозг.

Австралопитеки

К сожалению, переход от какой-то человекообразной обезьяны, сходной с рамапитеком, к человеку остается наименее известным периодом нашей истории. Однако начиная примерно с 5,5 млн. лет до настоящего времени мы имеем весьма многочисленные остатки существ, называемых австралопитеками, которые были “почти что люди” (рис. 26-5). Самой древней из известных и, по предположению, предковой формой был *Australopithecus afarensis*. Остатки австралопитековых найдены в Южной Африке, в районе африканских Великих озер, в Эфиопии и возле озера Чад, чуть южнее Сахары. Как показывают сопутствующие остатки животных, австралопитеки жили в более сухой и более открытой местности, очень похожей на нынешнюю африканскую саванну, все еще покрывающую немалую часть континента.

Австралопитек был меньше пяти футов ростом и весил около ста фунтов. От шеи и ниже он был почти, хотя и не вполне, человек; кости конечностей и таза ясно показывают, что он ходил выпрямившись и на двух ногах. В саванне такое положение тела удобнее: поднятая голова дает лучший обзор и позволяет раньше увидеть хищников. Хотя небольшие различия в строении костей, особенно тазовых, как будто свидетельствуют, что прямохождение было не столь совершенно, как наше, такие различия не следует преувеличивать: следы, оставленные несколькими особями в Лаетоли (Танзания) 3,75 млн. лет назад, показывают, что и поза, и походка вполне напоминали наши.

С точки зрения анатомии наибольшие различия между австралопитеками и нами отмечаются в строении головы. Черепная коробка была, по нашим стандартам, небольшая, емкостью около 300–600 см^3, примерно как у гориллы. Но поскольку австралопитек был значительно меньше гориллы, соотношение между мозгом и телом у него было сравнительно высоким. Челюсти массивные, так же как и зубы: несмотря на меньшие размеры тела, они были крупнее, чем у современного человека. Тем не менее лицо и челюсти по сравнению с крупными человекообразными обезьянами были редуцированы.

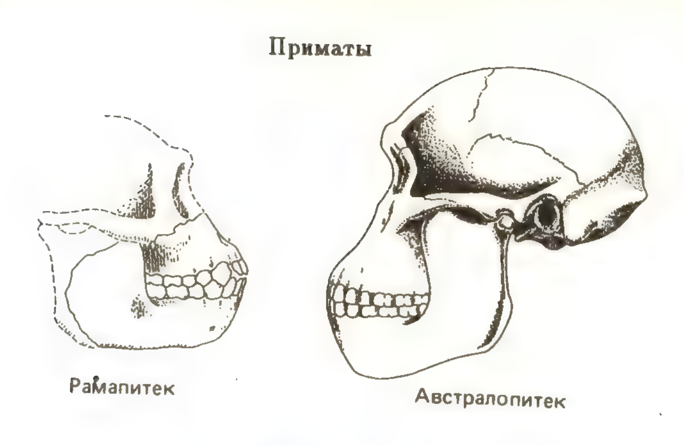




Рис. 26-5. Предками гоминид, как считают, были формы, похожие на древнюю обезьяну рамапитека. Некоторые виды рода *Australopithecus* эволюционировали в род *Homo*.

Австралопитек говорит нам, что человек эволюционировал от ног кверху, а не от головы книзу. Сначала он встал во весь рост; затем уменьшились его лицо и челюсти, и только потом стал развиваться по-настоящему крупный мозг.

Поскольку саванна гораздо богаче дичью, чем лесная местность, австралопитек становится частичным хищником. В этом ему мешало отсутствие зубов, развитых как у хищников, но двуногая походка освободила руки, усилив тенденцию, уже выраженную у понгид, таких как шимпанзе, использовать предметы вроде палок и камней в качестве орудий.

Хотя уже вполне похожий на человека, австралопитек мог

сильно отличаться от нас с вами по физиологическим деталям, скорости роста и созревания, продолжительности жизни. В зубах накапливаются микроскопические отметки, аналогичные годовым кольцам деревьев, но обозначающие не годы, а дни и недели жизни. Они позволили заключить, что рост в детстве у австралопитека был более быстрым, чем у современного человека, и больше походил на рост детенышей человекообразных обезьян. Половозрелость достигалась раньше, а продолжительность жизни могла быть несколько короче.

Различные формы австралопитековых

Не все эволюционные изменения шли здесь в одном направлении. Возникает несколько разных видов австралопитековых, среди них *A. robustus* и *A. boisei*. Они специализируются в поедании грубой растительной пищи, в связи с чем у них развиваются еще более массивные челюсти и зубы. По этой причине их называют "массивной" ветвью семейства. Эти вегетарианцы дожили примерно до рубежа в 1 млн. лет до нашего времени, а затем исчезли. Они были уничтожены, а возможно, и съедены древним человеком.

Эволюция головы

Если не слишком вдаваться в детали, переход от *Australopithecus afarensis* к *Homo sapiens*, как показано на рис. 26-6, происходил довольно гладко; сейчас его даже считают одним из наиболее полно документированных случаев эволюции млекопитающих от одного рода к другому. И что касается головы, эта эволюция была довольно-таки простой. По мере увеличения мозга увеличивалась черепная коробка, тогда как челюсти и зубы уменьшались. Главной причиной этого был переход к большему употреблению мяса, а позднее — использование орудий и огня. Для поедания более мягкой пищи требуется меньше усилий, поэтому размеры челюстей и зубов уменьшились. Для работы таких челюстей не нужны столь мощные мышцы, поэтому кости черепа, к которым они прикреплены, становятся тоньше. Все это приводит к постепенной эволюции в сторону так называемой "грацильности", что означает более легкий череп с более тонкими костями и менее крупными челюстями.

Некоторое продолжение этой тенденции можно наблюдать даже в позднее, почти историческое время. Нубийцы Верхнего Нила практиковали охоту и собирательство вплоть до знакомства с земледелием, начавшимся с возделывания проса примерно в сере-

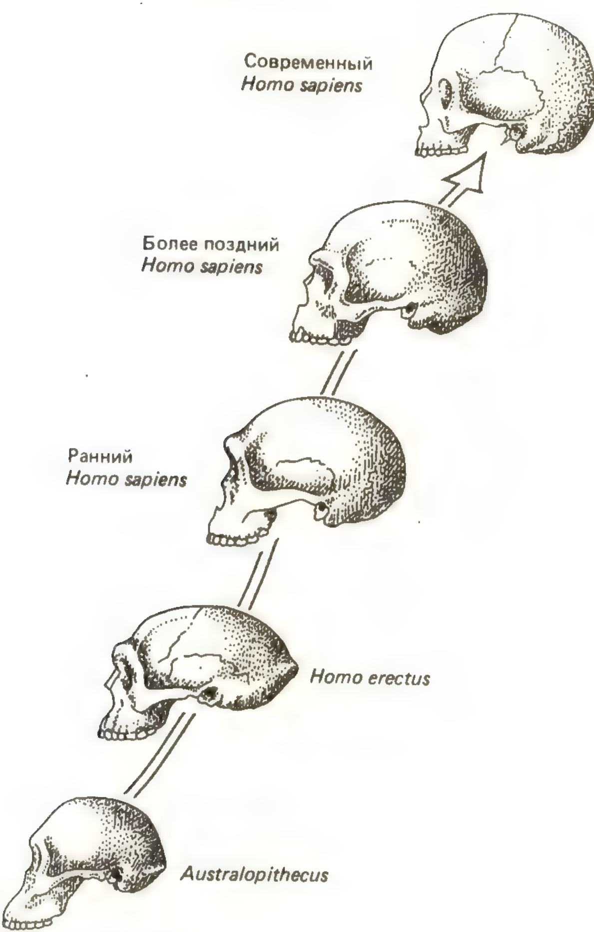


Рис. 26-6. Эволюция черепа человека.

дине шестого тысячелетия до н. э. В то время их черепа были довольно удлиненными, а челюсти и надбровья — более массивными. После введения земледелия изменилась и форма головы. Это изменение можно представить как легкую ротацию (рис. 26-7), при которой увеличивается высота черепа и уменьшаются размеры лица и челюстей, приводя к "модернизирующему" эффекту. Поскольку изменения со временем прогрессировали, изучавшие этот материал антропологи пришли к выводу, что они не были результатом прихода нового населения, а произошли на месте.

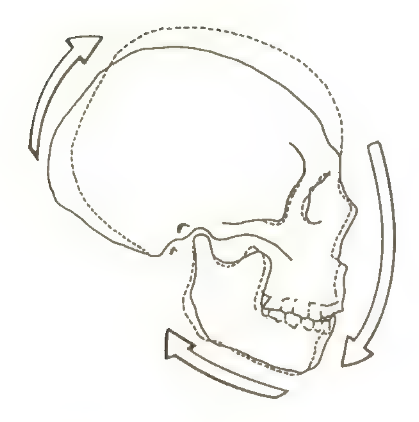


Рис. 26-7. Изменения формы костей головы у нубийцев после перехода к земледелию. Эти изменения связаны главным образом с редукцией жевательной мускулатуры в результате употребления менее грубой пищи.

Преимущество небольших челюстей, зубов и жевательной мускулатуры обычно объясняют тем, что в таких челюстях более мелкие и более простые зубы, меньше подверженные кариесу и опасным инфекциям, которые могли бы развиться при отсутствии зубоврачебной помощи. Это приобретает особое значение после перехода к земледелию, так как частота кариеса растет с ростом потребления углеводов. Приведем только один пример. Ранние исландцы (870–1200 н. э.) ввозили из-за границы много зерна и страдали от кариеса. Между 1200 и 1800 годами внешняя торговля практически прекратилась и население перешло в основном на мясную, рыбную и молочную пищу. Кариес в это время почти исчез, но появился вновь после 1800 г., когда иностранные поставки возобновились.

Увеличение размеров мозга

Увеличение размеров мозга у человека не уникальное явление: общая тенденция подобного рода существует во многих группах млекопитающих, но в линии человека она выражена значительно сильнее.

Частично это всего лишь следствие увеличения размеров тела, поэтому нам нужно сравнивать фактическую величину мозга жи-

вотного с тем, чего можно было бы ожидать, исходя из размеров его тела. Чтобы оценить, как соотносятся размеры мозга и всего тела, мы представили соответствующие данные графически в виде точек, а затем подобрали линию, лучше всего отражающую зависимость между обеими величинами (рис. 26-8). Теперь можно определить соотношение между действительным размером мозга и его ожидаемым средним значением — так называемый коэффициент энцефализации, или EQ (не путать с IQ, "коэффициентом интеллектуальности"). Для некоторых типичных представителей разных групп млекопитающих найдены следующие величины:

Животное	*EQ*
Утконос	0,944
Ехидна	0,715
Опоссум	0,573
Кенгуру	0,470
Еж	0,500
Летучая мышь	0,600
Серая крыса	0,792
Домовая мышь	0,808
Лисица	1,885
Лошадь	1,068
Слон	1,720
Крупный кит	0,190
Дельфин	4,900
Гоминоиды:	
Гиббон	3,157
Орангутан	1,910
Горилла	1,168
Шимпанзе	2,449
Homo sapiens	7,690

Человек, несомненно обладающий самым развитым интеллектом, как видим, имеет и самый большой коэффициент энцефализации; его ближайший соперник в этом отношении — дельфин, а не человекообразные обезьяны. Очевидно, однако, и другое: EQ может быть лишь грубым показателем интеллекта. Тем не менее существует некоторая корреляция, но не с тем, что мы непременно назвали бы "интеллектом", а со степенью сложности поведения животного.

Для пассивно обороняющихся животных характерна тенденция

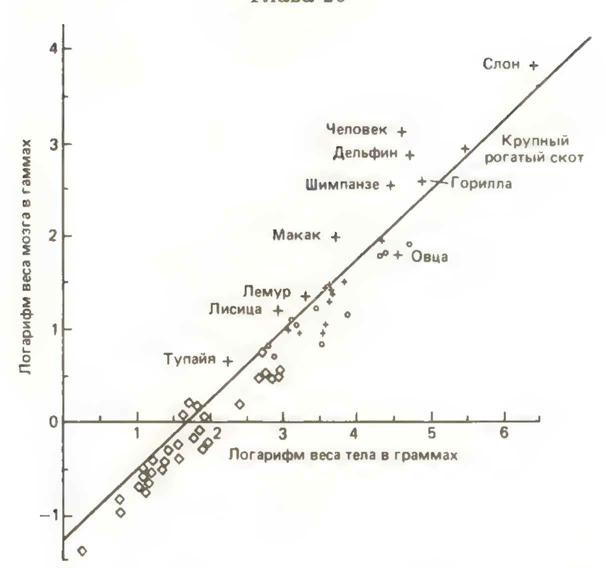


Рис. 26-8. Соотношение между весом мозга и весом тела у млекопитающих. Проведенная прямая линия наилучшим образом соответствует данным для всех млекопитающих. Все приматы располагаются выше этой линии (так же, как дельфин, что весьма примечательно), т. е. относительный вес мозга у них в среднем больше, чем у остальных млекопитающих. Другие точки соответствуют более примитивным формам, к которым относятся яйцекладущие млекопитающие, насекомоядные, прыгунчиковые и сумчатые. Все они представлены точками на линии или ниже, что свидетельствует о тенденции к увеличению весового соотношения мозг/тело в ходе эволюции.

к более низкому EQ по сравнению с теми, кто ведет себя активно. Например, дикобраз, полагающийся на свои иглы, имеет EQ 0,72, а пытающийся убежать агути — 1,09. Кроме того, животные, передвигающиеся в трехмерном пространстве, т. е. те, кто летает, плавает или обитает в кронах деревьев, имеют более высокие EQ по сравнению с теми, кто живет "в двух измерениях" на земле. Так, EQ белки — 1,43, а сурка — 0,83. Короче говоря, крупный мозг нужен, если вы хотите освоить сложные формы поведения.

Но верно и то, что не только относительные, но абсолютные размеры мозга обычно связаны с бо́льшими способностями. У крыс EQ тот же, что и у мышей, но поскольку крысы крупнее, у них больше и мозг; и действительно, мы знаем, что крысы гораздо умнее мышей. Точно так же более крупные породы кур имеют

более крупный мозг по сравнению с более мелкими, и те, кто с крупными мозгами, по куриным меркам "умнее" тех, у кого мозги меньше. Чем больше клеток имеется в мозгу, тем более сложными могут быть нейронные сети и тем большим "интеллектом" может обладать животное.

Но, опять-таки, одних только размеров недостаточно. Еще важнее, чем число клеток, организация мозга. Поскольку в пределах одного вида эта организация предположительно сходна, мы можем ожидать, что "интеллект" очень мало зависит от размеров мозга; и действительно, изучение связи между весом мозга и IQ у человека показало, что корреляция между этими показателями практически равна нулю. Едва ли не в каждом учебнике упоминается о двух выдающихся и высокоинтеллектуальных писателях — Анатоле Франсе с весом мозга в 1100 г, почти как у *Homo erectus*, и Иване Тургеневе с весом 1700 г, что близко к величинам для многих неандертальцев.

Но есть еще более поразительные примеры, показывающие, что именно организация мозга, а не его размеры в основном определяет интеллект. Головной мозг позвоночных — это по существу полая структура, поскольку и в онтогенезе, и в филогенезе он развивается как расширение передней части спинного нервного тяжа, который у всех позвоночных имеет трубчатую структуру. Полости мозга называются желудочками. Существует болезнь, называемая гидроцефалией или водянкой мозга, при которой желудочки растянуты жидкостью, а толщина слоя нервной ткани уменьшается. Обычно это состояние присутствует уже у новорожденного; у больных, как правило, отмечаются серьезные нарушения многих функций, в том числе очень слабое умственное развитие. Любопытно, однако, что это не всегда так. У студента одного английского университета была гидроцефалия, но его IQ достигал 126, он получил диплом с отличием по математике и выглядел в социальном отношении совершенно нормальным. Как показала компьютерная томография, слой нервной ткани в полушариях мозга имел у него толщину всего лишь около миллиметра вместо нормальных 4,5 см, а общий вес мозга по приблизительной оценке составлял 50–150 г вместо обычной средней величины около 1350 г. Сообщалось и о других подобных случаях. Очевидно, даже небольшая масса мозговой ткани может быть организована таким образом, что будет выполнять все функции, характерные для данного вида.

Видимо, есть основания считать, что постепенное увеличение размеров мозга в ряду *Australopithecus* → *Homo sapiens* в целом указывает на повышение интеллектуальных способностей, но приведенные выше случаи предостерегают нас от использования пря-

мых параллелей. И здесь мы сталкиваемся с вопросом о природе интеллекта.

Интеллект обычно специализирован

У всех животных, поведение которых мы могли бы назвать разумным, "интеллект" ограничен определенной областью. В пределах этой области поведение иногда в высокой степени разумно, но во всем остальном "разум" отсутствует. Ниже приводится несколько примеров.

1. Как уже обсуждалось выше, пчелы могут решать задачи, подобные тригонометрическим. Пролетая от улья до некоторого пункта кружным путем, они могут вычислять расстояние и направление по прямой и сообщать эту информацию своим товаркам. Но другие как будто бы сходные и довольно простые задачи им совершенно недоступны.

2. Примером такого же рода "разумных расчетов" может служить материнское поведение осы, запасающей провизию для личинки. Оса выкапывает в земле норку, кладет туда гусеницу и откладывает на нее яйцо. Покончив с этим, она выкапывает и обеспечивает провизией еще несколько таких норок. Позже она возвращается к первой из них, где личинка могла уже съесть гусеницу, и оставляет ей новый запас пищи. Все личинки обеспечиваются пищей трижды, в третий раз они получают около шести гусениц. Это не "механическое" поведение, так как запасы соответствуют потребности. Если тут убрать одну гусеницу, мать принесет большее их число, если добавить — меньшее. Но решение, сколько именно гусениц нужно доставить, принимается лишь однажды, во время первого, утреннего визита. Число замеченных тогда гусениц и определяет дальнейшее поведение. Если гусеницы будут удалены или добавлены после первого визита, это уже не повлияет на то их число, которое будет положено в норки в течение дня. С точки зрения человека, оса одновременно и умна, и глупа. Она умна, так как во время первого визита правильно подсчитывает нужное число гусениц, но глупа, потому что не корректирует это число по ходу своей деятельности.

3. Утки способны решать довольно сложные задачи на оптимизацию. Скажем, в пруд в двух местах бросают кусочки хлеба с разной частотой. Если все утки приплывут к тому месту, где корм появляется чаще, некоторым из них не удается получить его. Оптимальное решение состоит в том, чтобы разделиться на две группы, причем так, чтобы число уток в них было пропорци-

онально частоте появления хлеба. Именно это они и делают: они вычисляют соотношение частот и делятся на две группы соответственным образом. И это происходит не потому, что сначала все утки бросаются туда, где частота больше, а потом некоторые из них, разочаровавшись, перекочевывает в другое место. Еще до того, как начать кормиться, они верно оценивают частоту появления пищи в двух пунктах и приспосабливают к ней свое поведение. Некоторые рыбы тоже демонстрируют сходную способность.

Подобные примеры "ума", приспособленного для решения задач определенного рода, показывают, что относительный уровень интеллекта у разных видов животных нельзя определить с помощью одного и того же стандартного теста.

Есть немало примеров такой специализации интеллекта и у человека. Крайний случай — так называемые "гениальные идиоты". Иногда встречаются люди в целом очень низкого умственного уровня, но способные добиваться выдающихся результатов в какой-либо узкой области при полной неудаче во всем остальном. Например, один такой "гениальный идиот" может через несколько секунд сказать, какой день недели был, например, 11 ноября 1487 г. или в любой иной день. Другой почти без запинки будет называть простые делители довольно больших чисел, и т. д. Но эти люди — не математики. Они не могут формулировать новые предположения, доказывать или опровергать их.

Высокий интеллект в отдельных специфических областях не обязательно сочетается с низким в других. Некоторые великие математики, хотя и не все, отличались необыкновенными способностями к вычислениям; Моцарт, способности которого в других областях были довольно неопределенными, мог, как утверждают, мысленно слышать целую симфонию не во временно́й последовательности, а всю сразу.

Животные уступают человеку в интеллекте, так как они менее способны переносить интеллектуальные функции из одной сферы в другую. Утка может решать специфическую задачу на оптимизацию иной раз даже лучше, чем большинство людей, но она не в состоянии усмотреть аналогию между этой и другой сходной задачей, а затем использовать для решения последней тот же метод. Человек более разумен потому, что он может переносить методы из одной области в другую. Но, конечно, это лишь вопрос степени, и мы должны с грустью признать, что наш собственный интеллект не абсолютен и ограничен специфическими областями.

Направленность интеллекта по большей части врожденная; пример способности, хорошо развитой у большинства людей, — это использование речи. Многие способности у одних развиты лучше,

чем у других. Если же они не развиты, никакое обучение не сможет дать Моцарта или Гейзенберга. Однако способность к переносу интеллектульных навыков из одной области в другую может улучшаться в процессе обучения.

Древнейший человек

Анатомически австралопитек был уже совсем похож на человека, только поменьше и с гораздо менее крупным мозгом. Но размеры мозга увеличивались, совершенствовались другие детали, и *Australopithecus* дал начало роду *Homo*, а именно *Homo erectus*, или "человеку прямоходящему". Переход был постепенным, и несколько условно считают, что он произошел около 2,3 млн. лет назад. Древнейшая переходная форма получила название *Homo habilis*, однако четкое определение этой формы отсутствует, так же как нет и строгого разграничения между ней и "следующим" видом — *Homo erectus*.

Скелет *Homo erectus*, за исключением черепа, очень похож на наш собственный; отличается в основном череп, имевший более крупные челюсти и вмещавший несколько меньший мозг, чем у *Homo sapiens*, но более крупный, чем у австралопитека (см. рис. 26-6). Остатки человека этого типа найдены в Африке, Европе и Восточной Азии; среди хорошо известных ископаемых находок — яванский и пекинский человек.

Homo erectus первым начал изготовлять каменные орудия и использовать огонь. Хотя анатомически это был не вполне еще "современный человек", с этого момента основной акцент перемещается с эволюции тела на эволюцию поведения и культуры, к которой мы далее перейдем.

Литература

Ashley Montague A. E. An introduction to physical anthropology. Charles C. Thomas. Springfield, IL 1960.

Day M. H. Guide to Fossil Man. Fourth Edition. Un. of Chicago Press. Chicago, IL 1986.

LeGros Clark W. E. The fossil evidence for human evolution. Third edition. University of Chicago Press. Chicago and London 1978.

Cheney D. C., Seyfarth R. M. How Monkeys See the World. University of Chicago Press. Chicago and London, 1990.

Глава 27

Концепция культуры

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Для биолога термин "культура" означает любую информацию, передаваемую от индивидуума к другому не через гены, а через нервную систему путем подражания или обучения, с использованием языка или без него. В этом смысле элементы культуры имеются у некоторых животных. Развитие культуры называют *экзосоматической* (внетелесной) эволюцией в отличие от *соматической* (т. е. эволюции тела), которая основана на передаче генетической информации.

Способность овладевать культурой достигается в несколько этапов. У низших животных поведение в значительной степени состоит из различных рефлексов — более или менее стереотипных ответов на раздражители. Но в ходе эволюции эти рефлексы все больше попадают под контроль высших нервных центров, и чем лучше развита нервная система, тем сильнее выражена эта тенденция. Контроль над поведением со стороны высших центров делает поведение более разнообразным, а научение — более важным для выживания.

Научение путем подражания — основа культуры — возникает поздно, так как требует достаточного представления о собственной "личности", чтобы особь могла осознавать сходство поведения другой особи со своим собственным поведением. Абстрактная концепция личности хорошо развита лишь у некоторых приматов. Как только начинается обучение путем подражания, животное может уже развивать культурные традиции; однако полностью развитая, "высокая" культура требует способности пользоваться языком.

Благодаря "высокой" культуре человек выработал ряд новых концепций, или космологий, которые изменили его взгляды на окружающий мир. Мотивация для развития этих концепций имела двоякие биологические корни: необходимость в обретении уверенности и любопытство, которые присутствуют и у некоторых других животных, но у человека проявляются совершенно по-новому. Потребность в уверенности приводит к космологиям, носящим название религий. Другая мотивация — любопытство — дает "научные"

космологии, обоснованные эмпирически и теоретически. "Чистая наука", практикуемая во имя себя самой, вскоре приводит к изменениям в технологии и наоборот, но ее реальное значение состоит в том, что она меняет наши взгляды на мир, а значит, и наши модели поведения, делая человека совершенно отличным от других животных.

◇◇

С появлением *Homo erectus* культура становится доминирующим фактором эволюции человека.

Существуют два пути передачи информации от одного индивидуума к другому:

1. Первый заключается в передаче от родителей к детям информации, закодированной в ДНК. Эта информация определяет структуру организма, включая его нервную систему, а тем самым и многие аспекты поведения. Прогрессивные изменения этой информации называют "соматической эволюцией", эволюцией тела.

2. Второй путь — передача информации от одного индивидуума к другому через нервную систему путем подражания и обучения. То, что передается таким способом, биологи называют "культурой", но можно назвать это и традицией. При этом производятся новые материальные блага, а также нематериальные духовные ценности, такие как магия, религия, наука, искусство и т. д. Прогрессивные изменения этой информации называют "экзосоматической", или внетелесной, эволюцией.

Культура обладает биологическим аспектом, поскольку становится возможной благодаря изменениям нервной системы, происходящим в процессе соматической эволюции. Здесь можно различить следующие этапы:

а) контроль над нервными функциями, определяющими поведение, передается от более древних к более новым, "высшим" отделам нервной системы;

б) когда контроль над поведением передается более высоким центрам, те типы поведения, которые раньше были врожденными, становятся все в большей степени зависимыми от научения. Это означает также, что поведение становится все более изменчивым;

в) животные, образующие социальные группы, согласуют свое поведение с действиями всей группы и таким образом усваивают то, что знают ее более старшие и опытные члены;

г) на следующей стадии животные начинают также прямо обучаться путем подражания. Достигнув этого более высокого уровня, они начинают развивать истинную культуру.

Возрастающий контроль над поведением со стороны высших мозговых центров

У позвоночных дуги таких рефлексов, как координация движений конечностей, опорожнение мочевого пузыря и регуляция кровяного давления, проходят не через головной, а через спинной мозг. Поэтому можно ожидать, что после отделения спинного мозга от головного рефлексы будут осуществляться так же, как и прежде. Но здесь по мере восхождения от лягушки до человека мы находим важные различия.

Если перерезать спинной мозг чуть ниже пятого шейного сегмента, чтобы дыхательные движения могли продолжаться, у всех позвоночных наступает состояние, называемое спинальным (спинномозговым) шоком. В этот период большая часть рефлексов исчезает, а те, что остаются, сильно ослаблены. Спустя некоторое время рефлексы могут восстановиться, хотя, конечно, поступающие от глаз зрительные сигналы не смогут больше инициировать или останавливать движения. В субъективном смысле осуществление “произвольных” движений или реакций уже невозможно.

Спинальный шок у человека был впервые подробно изучен во время первой мировой войны, когда часто случалось повреждение спинного мозга при пулевых ранениях или попадании осколков снарядов. Это не обязательно приводило к потере сознания, но мгновенная утрата чувствительности в нижней половине тела создавала ощущение разрыва его на части. При должном уходе многие из пострадавших выживали, хотя и оставались полностью парализованными ниже места ранения. В числе медицинских затруднений, возникающих при спинномозговой травме, — задержка мочи и кала, а также сухая кожа со склонностью к омертвению.

Спинальный шок наступает потому, что обычно для рефлекторной дуги характерно значительное синаптическое сопротивление при прохождении сигналов, но передачу их облегчают нервные импульсы, идущие от головного мозга. Таков механизм действия последнего в процессе контроля над рефлекторными дугами.

После перерезки спинного мозга эти облегчающие сигналы больше не поступают, поэтому происходит торможение рефлексов. Но через некоторое время синаптическое сопротивление в рефлекторных дугах уменьшается и рефлексы появляются вновь. У лягушки период спинального шока длится всего несколько минут, у собаки или кошки — несколько часов. У низших обезьян его продолжительность намного больше, но самая длинная — у человека и шимпанзе, у которых для восстановления требуется много недель. Увеличение длительности спинального шока в ряду ля-

гушка — человек служит показателем возрастающего контроля над поведением со стороны высших нервных центров.

Это усиление контроля позволяет более гибко реагировать на различные раздражители. Например, укус блохи обычно вызывает у собаки чесательный рефлекс, но головной мозг, отказываясь способствовать ему, заботится о том, чтобы одна блоха не смогла автоматически остановить бегущее животное, заставив его прекратить бег и начать чесаться. Точно так же у человека опорожнение мочевого пузыря есть рефлекторный акт, однако состоится он или нет, решают высшие мозговые центры. Еще более удивительный пример — дыхание дельфина. У человека и большинства животных дыхание происходит рефлекторно и лишь в ограниченной степени контролируется высшими отделами мозга. Но для дельфина это было бы смертельно: если бы он начал дышать, находясь под водой, то немедленно бы утонул. В связи с этим его дыхание "произвольно" и осуществляется только тогда, когда животное на поверхности. Поэтому дельфина в отличие от человека нельзя подвергать общему наркозу: во время этой процедуры дельфин перестает дышать и умирает.

"Направляющее" воздействие высших центров

У высших животных головной мозг может также информировать о местонахождении раздражителя. Если "спинальной" лягушке, т. е. такой, у которой разрушен головной мозг, капнуть на заднюю лапку кислотой, она отдернет именно ее (рис. 27-1). Здесь спинной мозг сам получает и использует информацию о месте раздражения, но у человека и высших обезьян это делает головной мозг. Поэтому "спинальный" человек или человекообразная обезьяна демонстрируют реакцию, называемую "массированным рефлексом" и не свойственную низшим животным. Болевой раздражитель, воздействующий практически на любую часть тела, вызывает рефлекторный спазм брюшной мускулатуры, сгибание ног и опорожнение мочевого пузыря. Спинной мозг уже не "знает", где воздействует раздражитель, и дает генерализованную реакцию.

Отсоединение высших центров

Если вместо перерезки спинного мозга ниже продолговатого, являющегося самой нижней и примитивной частью головного мозга, произвести перерезку выше, то поведение животного будет значительно более сложным. Таких животных называют децеребриро-

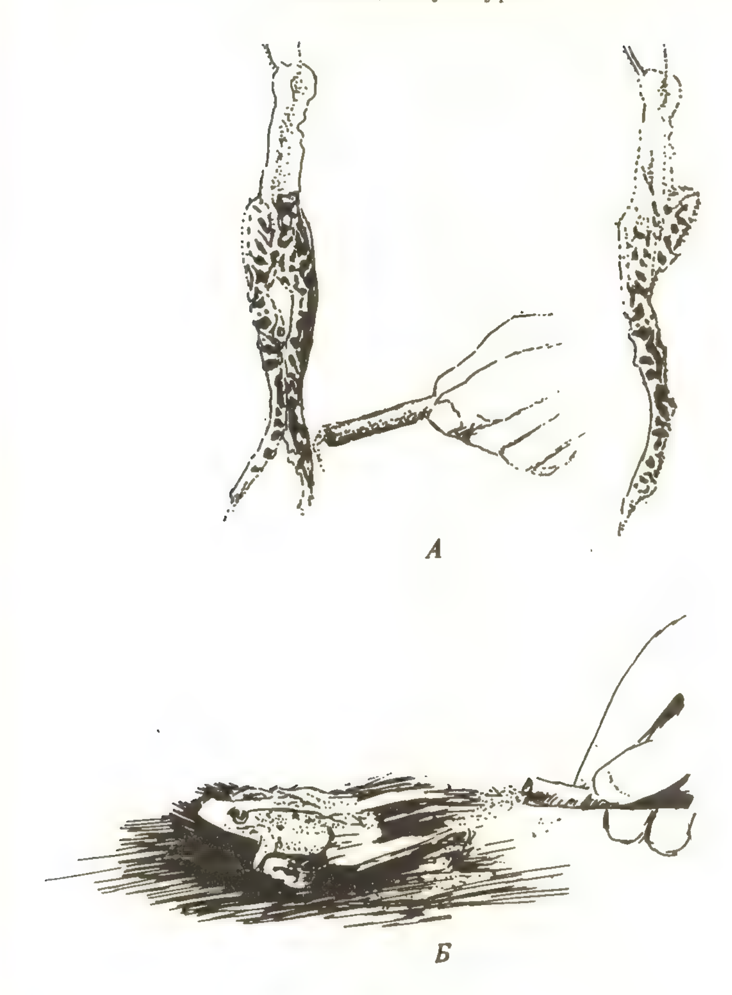


Рис. 27-1. Возможности спинного мозга лягушки. *А*. После удаления головного мозга спинной мозг обеспечивает отдергивание лапки при воздействии болевого раздражителя, в данном случае кислоты. Спинной мозг "знает" о месте такого воздействия. *Б*. Лягушка с разрушенным головным мозгом прыгает: спинной мозг обладает нервными механизмами, необходимыми для "запуска" и координации прыжка. Высшим животным для выполнения таких действий нужен головной мозг.

ванными. Болевой стимул может вызвать проявления гнева или ярости, такие как вздыбливание волос, укусы и т. п., но они не объединяются в осмысленную схему бегства или атаки. Децеребрированное животное, как и спинальное, не способно поддерживать постоянную температуру тела.

Можно пойти выше. Если удалить только кору, в эволюционном смысле новейшую часть мозга, то у большинства млекопитающих последствия будут намного меньше, чем при децеребрации. Собаки и кошки после декортикации могут сидеть и ходить, прямо держать тело, глотать пищу и регулировать температуру тела. Основные потери связаны с утратой форм поведения, приобретенных путем научения, а также способности к усвоению нового. Но здесь опять-таки наблюдается прогрессирующая последовательность даже в пределах млекопитающих. Кролики и крысы меньше страдают от удаления коры, чем кошки и собаки. У низших обезьян удаление только одной части коры — лобных долей — приводит к более глубоким изменениям, чем удаление всей коры у собак.

Врожденное поведение становится зависимым от обучения

По мере того как поведение животных все больше попадает под контроль высших нервных центров, все больше типов поведения, некогда бывших полностью врожденными, становятся зависимыми от обучения. Выдра, выращенная в неволе и не видевшая рыбу, сразу же начинает нырять и охотиться за ней при возвращении в природные условия. Но не имевший соответствующего опыта молодой павиан приходит в ужас от личинок и скорпионов, составляющих главную пищу диких павианов, и начинает есть ядовитые ягоды, которых те избегают. Очевидно, по вопросу о том, какая пища приемлема и как с ней следует обращаться, у павианов существует традиция, передаваемая путем подражания и обучения.

Точно так же забота о детенышах у низших животных — врожденный поведенческий комплекс, но у низших и человекообразных обезьян он отчасти врожденный, а отчасти приобретаемый на опыте. Со своим первым детенышем мамаша-шимпанзе обращается очень неловко, но со вторым ее умение намного улучшается. В природных условиях молодые самки низших обезьян, так же как и шимпанзе, часто приобретают опыт обращения с младенцем, играя с детенышами старших самок; да и та любовь к куклам, которую испытывают наши дочки, — это проявление той же модели поведения.

И наконец, необходимость обучаться тому, что прежде было врожденной формой поведения, приводит к важному следствию: само это поведение становится гораздо более разнообразным.

Обучение и усвоение

Способность учиться на опыте других вначале была связана с чем-то более простым — со стремлением следовать за вожаком. В группе стадных животных, таких, как павианы или дикие лошади, одно животное играет роль "вожака", определяющего, когда и куда должна двигаться группа. У диких лошадей вожак — это нередко одна из старших кобыл, а у павианов — один из старших самцов. Опытные вожаки знают характер местности, особенно расположение мест, где находятся вода, пища и безопасные убежища. Более молодые животные должны просто следовать за вожаком и без особого обучения или подражания знакомиться с местностью быстрее и эффективнее, чем если бы они делали это самостоятельно. Такая практика может спасти немало жизней.

Подражание

Способность обучаться путем намеренного подражания намного сложнее; чтобы делать это, нужно сознавать, что другой подобен тебе. Если вы подражаете кому-то, кто пользуется палкой, вы должны в некотором смысле понимать, что его рука подобна вашей. Если вы не осознаете этого, то вы просто наблюдатель события, не имеющего к вам никакого отношения. Это требует некоторого осознания "себя" как личности — довольно сложного понятия, доступного лишь некоторым приматам.

Как только обучение путем подражания входит в обычную практику, сразу же становится возможным случайное открытие или намеренное изобретение новых форм поведения, которые могут затем передаваться от одного поколения другому. Например, в одном стаде японских макаков обнаружен ряд пищевых причуд: одни виды пищи считаются "кошерными", другие — нет. Молодняк не обращает особого внимания на эти правила, но если кто-то будет замечен в их нарушении, то получит шлепки от мамаши. Иногда, однако, молодым удается настоять на своем, и тогда ранее запретная пища входит в категорию дозволенной для всей группы. Еще более удивительный случай связан с одной самкой из этой же группы, которая совершила технологический "большой скачок", изобретя метод отделения риса от песка путем погружения смеси

в воду. Это достижение тоже переняли другие обезьяны, и оно стало частью культурного наследия группы.

"Высшие уровни культуры"

Так же как и в биологии, в гуманитарных науках под словом "культура" подразумевается нечто, передаваемое путем подражания и обучения от одного поколения другому, но в гуманитарной области акцент делается на "высокой" культуре, на таких ее проявлениях, как магия, наука, технология, религия и искусство. Мы и только мы обладаем ими, так как это возможно лишь для животного, владеющего подлинной речью.

Смысл термина "высокий" или "высший" нуждается, однако, в некотором уточнении и разъяснении. Многие новшества в нашем образе жизни, возникшие в ходе внетелесной эволюции, носят по большей части косметический характер, так как новые орудия или "концептуальные" продукты нередко служат для достижения тех же целей, к которым стремилось животное-предок еще до того, как они были изобретены. Так, кузнечные молоты и экскаваторы — всего лишь заменители мышц и зубов, а вместо того, чтобы наблюдать, как скачет и рычит перед нами один из наших сородичей, мы включаем телевизор. Хотя, конечно, удобство неимоверно возросло, все эти новшества суть "улучшенные средства для достижения неулучшенных целей". Именно из-за сходства целей основные социальные структуры и мотивации человека изменились за последние миллионы лет гораздо меньше, чем многим хотелось бы думать.

Тем не менее в культурном багаже человека появились и радикально новые явления. Например, шаман, чья душа улетает в иной мир, не имел, видимо, близких аналогов среди наших предков-австралопитеков, равно как не было и ничего сравнимого с "Элементами" Эвклида. Подлинно новые достижения, сделавшие человека тем, чем он прежде никогда не был, касаются не столько материальных благ, сколько некоторых общих концепций об устройстве мира, которые можно назвать "космологиями"[1]. Хотя

[1]Наше слово "космос", означающее вселенную, взято из греческого языка, где оно первоначально означало что-то вроде "упорядоченной организации", например организации войскового подразделения. Позже греческие мыслители начали употреблять его в смысле "мир" и "вселенная", чтобы подчеркнуть свое убеждение, что мир не есть произвольное скопище вещей божественной или иной природы, как предполагалось ранее, а нечто подчиненное "рациональному порядку". От того же слова в смысле "упорядочивания" происходит и наше слово "косметика", которое теперь означает главным образом духи, пудру и т. п.

мотивации, приведшие к их возникновению, имели много общего с теми, которые есть и у других млекопитающих, способ их проявления был совершенно новым.

Человек испытывает насущную потребность определить свое место во вселенной, знать, на что он опирается и к чему принадлежит. Эта потребность имеет два биологических истока — нужда в уверенности, свойственная многим приматам, и любопытство, присущее уже крысе.

Прежде всего, человечество живет в постоянном страхе перед неизвестными и неподконтрольными ему силами, особенно перед неизбежностью смерти, которая поражает каждого, несмотря на любые предосторожности. Поэтому человек ищет успокоения, подобно ребенку или шимпанзе низкого социального ранга. Он хочет верить, что мир исполнен смысла и дружелюбия по отношению к человеку, и делает все, чтобы создать соответствующую концепцию мироустройства. Общие концепции, более явно мотивированные потребностью в самоуспокоении, называются религиями. Любые попытки устранить их приводили к жестоким неудачам, так как эмоциональный фактор всегда намного сильнее логических или эмпирических доказательств.

Помимо потребности в успокоении человеку свойственно также любопытство, которое побуждает его к попыткам узнать, что в действительности представляет собой мир, по более бескорыстным мотивам. Космологии, создание которых мотивируется в первую очередь чистым любопытством, называются "научными". Но граница между "научными" и "религиозными" космологиями не всегда отчетлива, как о том свидетельствует недавнее появление "антропного" принципа, который по существу пытается использовать научные методы, чтобы показать, что вселенная имеет цель и эта цель — человек.

Со времен греческих философов и математиков создаваемые наукой "космологии" оказывали все возрастающее влияние на каждодневное поведение человека. Концепция "доказательств" в геометрии и демонстрация того, что небесные тела движутся по "рациональным" законам, разрушили прежнюю космологию, утверждавшую, что мир наполнен злокозненными или благожелательными агентами, которых нужно расположить к себе дарами, мольбами или лестью. Приведем один из примеров: концепция о том, что Солнце есть физическое тело, а не божество, требующее крови для своего сияния, уничтожила потребность в 20 000-ной человеческой жертве, ежегодно приносимой ему в древней Мекси-

ке. Позднее идея органической эволюции, как согласится любой фундаменталист, несомненно, изменила наши взгляды на себя и других.

И если нам когда-либо удастся установить контакт с разумными существами на других небесных телах, может произойти еще бо́льшая переоценка земных ценностей[1].

Не следует, однако, вставать на одностороннюю точку зрения по поводу "чистой науки". Предположительно она мотивируется одной лишь любознательностью и, подобно искусству, хочет, чтобы ее рассматривали как самоцель. Хотя этот аспект действительно имеет место, он по большей части становится возможным благодаря техническому прогрессу, который в свою очередь обусловлен развитием "чистой науки". Опасность такого симбиоза, ныне вполне очевидная, состоит в том, что технология будет подавлять наши проявления любопытства, положив конец тому, что делает человека принципиально отличным от других животных.

[1]Иногда одна лишь возможность подобной коммуникации приводила людей в ужас. В 1686 г. Бернард ле Бовье де Фонтенель опубликовал популярную работу, переведенную затем на многие языки, в которой высказал предположение, что "мы не одни". Это породило бурные дискуссии, подчас не слишком дружелюбные, о том, совместимо ли существование инопланетян со Священным Писанием, ограничено ли значение искупительной жертвы Христа только нашим биологическим видом и т. п. В 1687 г. книга попала в список запрещенных, в 1825 г. была исключена из него, а в 1900 г. попала туда снова. Сравнительно недавно ватиканские теологи обсуждали вопрос, нужно ли распространять Веру среди внеземных цивилизаций, если представится такая возможность. Приводилось немало веских аргументов и за, и против, но в настоящий момент большинство склоняется к отрицательному ответу.

Глава 28

Жизнь шимпанзе

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Экзосоматическая эволюция человека, т. е. эволюция его культуры, началась рано, задолго до того, как он стал человеком. Его ближайший ныне живущий родственник — шимпанзе. Вполне возможно, что жизнь этого примата в некоторых отношениях сходна с жизнью наших предков на прегоминидной стадии (т. е. до австралопитеков) и во всяком случае заслуживает внимания как пример высокого уровня развития млекопитающих.

Хотя и в более рудиментарной форме, шимпанзе обладают многими способностями, напоминающими наши собственные. Они могут вырабатывать общие понятия, и их можно обучить манипулированию символами, отражающими эти понятия. У них есть представление о своем "я", и другим они тоже приписывают личностные свойства. Их чувство времени не ограничено непосредственным настоящим; они способны предвидеть и воображать. Они могут использовать предметы в качестве орудий и даже слегка видоизменять их для этой цели.

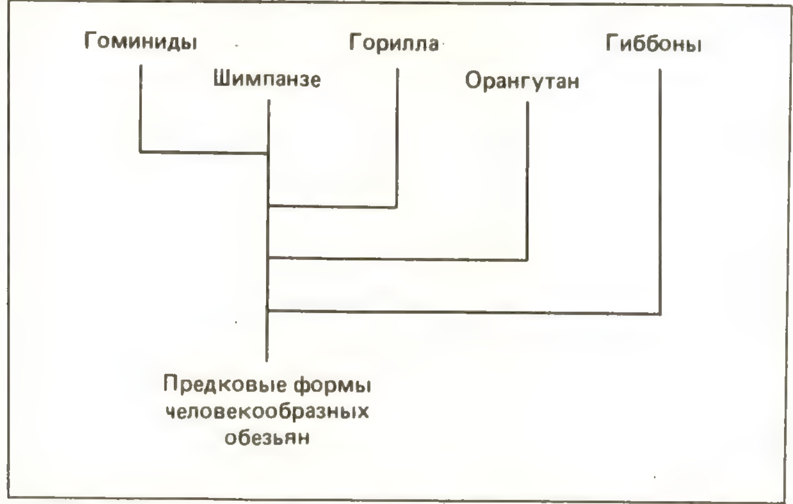
Шимпанзе живут группами, или "стадами", из 20–50 особей на охраняемой ими территории. Самцы всегда остаются в той группе и на той территории, где родились, но самки во время эструса могут переходить из одной группы в другую. Границы территории патрулируются с довольно короткими интервалами. Иногда вспыхивают "войны", во время которых одна группа начинает вторгаться на территорию другой и постепенно уничтожает противника.

В пределах группы существует линейная иерархия доминирования, которая первоначально устанавливается с помощью драк и демонстраций. Она усложнена наличием временных или полупостоянных союзов, члены которых поддерживают друг друга. Взаимная помощь оказывается в основном членам семьи, но иногда и другим соплеменникам.

Существуют две модели спаривания: связи в случайной группе из нескольких самцов и одной самки и "супружеские пары", сохраняющие свои отношения несколько дней и даже недель.

Шимпанзе обладают довольно обширным репертуаром голосовых сигналов (вокализаций) и жестов, которые используются для выражения настроений, эмоций и намерений. Вокализации и жесты носят отчасти врожденный характер, но их надлежащее использование — в основном результат обучения. Хотя у шимпанзе нет настоящего языка, с помощью подражания и сигналов они передают от одного поколения к другому значительное количество информации об использовании орудий и социальном поведении, создавая тем самым культурные традиции.

На основе сравнительно-анатомических и биохимических данных можно построить следующее генеалогическое древо гоминоидов, т. е. человекообразных обезьян и человека:



Гориллы, шимпанзе и орангутаны — это крупные человекообразные обезьяны; размеры гиббонов меньше. Шимпанзе наши ближайшие ныне живущие родственники; как сейчас полагают, они ближе к человеку, чем к гориллам. Конечно, шимпанзе несколько изменились с тех пор, как отделилась ветвь гоминид, но во многом они все еще, вероятно, напоминают того нашего предка, который жил в период между этим разделением двух ветвей и древнейшими австралопитеками, и могут поэтому служить ценным источником информации о его жизни и способностях. В любом случае шимпанзе — весьма примечательное животное: даже если бы оно не было нашим родственником, биолог счел бы его достойным изучения.

Большая часть информации об умственных способностях шимпанзе основана на наблюдениях за ними в неволе. Во время первой мировой войны немецкий психолог В. Кёлер, человек исключительной одаренности, оказался на испанских Канарских островах, где уже был организован институт по изучению шимпанзе. Наблюдения и эксперименты Кёлера послужили основой для проведения подобных исследований и в других местах. Мы узнали, что способности и интеллект шимпанзе качественно вполне сравнимы с нашими, хотя и более примитивны.

Оказалось возможным научить шимпанзе общаться с нами при помощи своеобразного языка жестов, похожего на тот, которым пользуются глухонемые, или при помощи символов, представляющих слова. Независимо от того, настоящий это язык или нет, он дал нам возможность проникнуть в образ мыслей и внутреннее "я" шимпанзе, в такой мере, в какой это не удавалось в отношении других животных.

Образование понятий

Шимпанзе обладают способностью к формированию общих понятий. Они могут абстрагировать некоторые свойства предметов; например, при предъявлении карточек с изображением различных плодов могут рассортировать их по видам: "яблоки", "апельсины", "дыни" и т. д., либо по цвету или другим особенностям.

Способность узнавать изображение сама по себе свидетельствует о высокой степени абстрагирования. Для нас кажется очевидным, что фотография кошки напоминает кошку, но на самом деле фотография — это двумерный объект, сильно отличающийся от настоящей кошки и требующий значительного абстрагирования для установления его сходства с кошкой. Большинство животных не способно к этому, но шимпанзе и орангутаны распознают картинки и даже наслаждаются телевизионными передачами, отдавая предпочтение "вестернам".

Представление о собственном "я"

Как неоднократно повторялось, особенно прежними авторами, человек уникален в том отношении, что он осознает себя: у него есть представление собственной личности, или "я". Это рассматривалось как фундаментальное свойство, делающее организм "личностью". Но если это так, то и шимпанзе — личность, как показали, в частности, эксперименты с зеркалом.

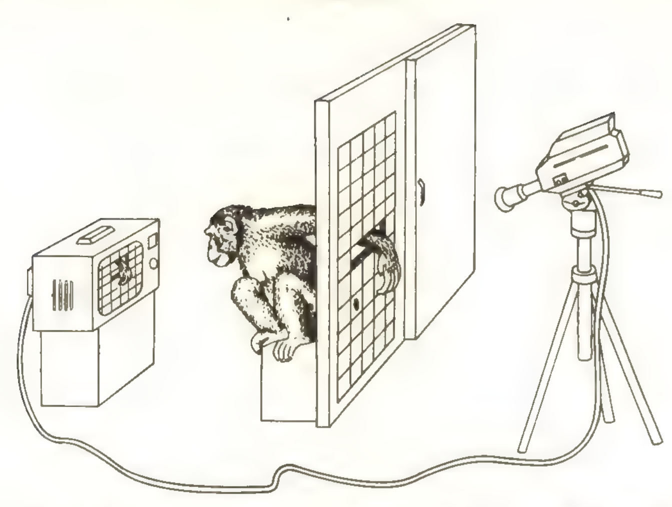


Рис. 28-1. Чтобы дотянуться до заданного места (темного пятнышка), шимпанзе может направлять свою руку, наблюдая за ней на телевизионном экране. Он будет способен выполнить эту задачу, даже если перевернуть изображение вверх ногами или слева направо.

В отличие от фотографии или телевизионного экрана зеркало воспроизводит совершенно правильное трехмерное изображение, так что, если животное способно реагировать на визуальную ситуацию, оно будет реагировать и на собственное зеркальное отражение. Обычно его реакции — угрозы, рычание — ясно показывают, что животное видит в зеркале "другого". Подобным образом реагируют и такие высокоразвитые формы, как макаки, и, по-видимому, даже гориллы. Шимпанзе, однако, быстро соображают, что изображение в зеркале относится к ним самим, и научаются использовать его при таких действиях, как чистка зубов или носа.

Или другой пример: съедобную приманку помещают по одну сторону двери, а шимпанзе по другую. Он мог бы достать еду через щель в двери, если бы увидел ее. Одновременно изображение еды и щели проецируют на телеэкран, который шимпанзе может видеть. Не спуская глаз с экрана, он просовывает в щель руку и быстро хватает приманку (рис. 28-1). Очевидно, он понимает, что на экране изображение не просто чьей-то, а его собственной руки. Опыт был успешным даже тогда, когда изображение на экране переворачивалось слева направо или вверх ногами. Если осознание себя делает особь личностью, то шимпанзе, несомненно, личность.

"Гипотеза о чужом сознании"

Шимпанзе, несомненно, имеет представление о собственном "я", но понимает ли он, что и кто-то другой может быть такой же личностью, как и он сам? Подобное понимание называют "гипотезой о чужом сознании"; имеется в виду наличие представлений о том, что некоторые внешние объекты имеют чувства, желания и т. д. Существует немало свидетельств, что шимпанзе действительно обладают такими представлениями.

Один самец, известный своим интеллектом, наблюдал за самкой, безуспешно пытавшейся соединить две палки в одну более длинную, которая позволила бы ей достать банан. Взяв обе палки, он быстро вставил одну из них в соответствующее отверстие на конце другой и достал плод. Но не для себя: он подтолкнул его точно по направлению к самке. Очевидно, он понимал, что самка — это личность, которая пытается заполучить банан.

Или другой пример. Самке по кличке Сара показали видеофильмы, где два человека испытывали какие-то трудности, например при доставании бананов. Затем были продемонстрированы различные благоприятные и неблагоприятные результаты их усилий, причем Сара должна была указать, какие из фильмов ей больше нравятся. Для того человека, которого она любила, она предпочла благоприятный исход, т. е. сценку, где он завладевает бананом. Того же, кто не пользовался ее симпатиями, она предпочла видеть лежащим на полу под грудой цементных блоков. Многие другие наблюдения тоже говорят явно в пользу того, что шимпанзе могут приписывать мотивы, представления и намерения как другим шимпанзе, так и людям.

Предвидение и воображение

Для шимпанзе время не ограничивается только настоящим моментом. Когда на улице холодало, одна обезьяна, покидая теплое уютное помещение, прихватывала с собой ворох соломы для постройки гнезда. Очевидно, она догадывалась, какой будет погода снаружи.

Как и человеческие дети, молодые шимпанзе придумывают игры с воображаемыми предметами. Одна самочка играла с воображаемой нитью, которую она тащила за собой по полу, "выуживая" с ее помощью предметы. Она испытывала также страх перед "сверхъестественным". Когда женщина — ее приемная "мать" — тоже изобрела воображаемую игрушку и стала тащить ее позади себя, самка шимпанзе сначала пришла в изумление, потом в ужас и принялась хныкать и плакать от присутствия невидимо-

го призрака. С тех пор она никогда больше не придумывала себе воображаемых игрушек.

Хотя изучение шимпанзе в неволе может многое поведать нам об их мыслительных способностях, столь же, если не более интересно познакомиться с их жизнью в естественных условиях.

Шимпанзе в природном окружении

Шимпанзе живут в лесах, а также на несколько более открытых пространствах от Западной Африки до Уганды, Кении и Танганьики. К югу от реки Конго обитают карликовые шимпанзе. Жизнь этих животных в природе была освещена совсем недавно благодаря усилиям ряда исследователей, в первую очередь Джейн Гудолл (по мужу — баронессы ван Лавик), работающей в резервате Гомбе на восточном берегу озера Танганьика. Исследования продолжаются больше 25 лет и стали возможны благодаря "приручению" одной группы шимпанзе — животные постепенно привыкли к присутствию людей и продолжают свои занятия, как если бы тех не было рядом.

В природе шимпанзе живут группами (сообществами), каждая из которых занимает определенную территорию. При благоприятных условиях, как в Гомбе, группа может занимать территорию в 7–15 км^2 и состоять из 40–50 особей, скажем, из 20 взрослых самцов и самок, 15 подростков и 5 детенышей. Сообщество построено по типу "слияние–разделение". В отличие от стада копытных члены группы проводят вместе не все время. Любой индивидуум или несколько шимпанзе, образующих подгруппу, вольны идти куда им заблагорассудится в пределах общей территории, так что некоторые члены группы могут не встречаться неделями и даже месяцами.

Самцы и самки с детенышами обязательно находятся на территории данной группы, но самки в период эструса могут без особых трудностей уходить и присоединяться к другой группе. Это несколько напоминает экзогамию в человеческом обществе, когда в некоторых племенах мужчины остаются дома, а девушки приходят из других мест. Однако в сообществе шимпанзе такая экзогамия не обязательна.

Самцы крупнее и сильнее самок; их вес 37–46 кг, у самок — 32–37 кг. Обычно самок больше, чем самцов. Беременность длится 230 дней, мать нянчит детеныша около 5 лет, прежде чем окончательно отлучит от груди. В течение этого периода повторной беременности не наступает. Детеныши поддерживают тесную связь с матерью

вплоть до 8–10-летнего возраста. Самцы становятся способными к размножению в 12–14 лет, самки примерно тогда же. Максимальная продолжительность жизни составляет, по-видимому, около 50 лет, хотя, конечно, мало кто доживает до этого возраста.

Поскольку шимпанзе питаются в основном растительной пищей низкой энергетической ценности, они проводят за кормежкой почти половину дня, а еще час или около того тратят на передвижение с места на место. Если считать это работой, то она занимает 6–8 часов в день. Однако у них остается еще достаточно времени для более возвышенных занятий, а именно социальных взаимоотношений и секса.

Социальный статус

И у крыс, и у людей внутригрупповые взаимоотношения строятся на доминантности и подчиненности, т. е. на основе так называемого социального статуса. По отношению к особи более высокого ранга подчиненные индивидуумы испытывают почтение и некоторую долю страха; когда ранг уже установился, нет необходимости всякий раз драться и ссориться, выясняя, кто выше. В сообществе шимпанзе иерархия доминирования носит линейный характер: существует доминантный альфа-самец, за которым следует бета и т. д.

Впервые ранг устанавливается с помощью драки, которая может достигать разной степени ожесточенности. Обычно дело обходится без увечий, но иногда соперники получают серьезные травмы. Хотя, на первый взгляд, установление ранга и связано с грубой силой, на самом деле в основе этого процесса лежат более тонкие механизмы. Подъем по иерархической лестнице в значительной степени зависит от умения образовывать коалиции с другими особями, и здесь наибольшего успеха добиваются те, кто способен лучше манипулировать социальными отношениями. Иными словами, речь идет о политических талантах.

Допустим, имеются три индивидуума различного ранга $A > B > C$. B превосходит C, и когда они находятся вдвоем, доминирует над ним. Но если C дружит с A, тогда, находясь в компании с B и A, он может доминировать над B, так как на него распространяется часть "авторитета" его друга. А "авторитет" здесь обусловлен знанием того, что если B атакует C, то A может атаковать B. Существуют коалиции и более оппортунистического свойства. Если A и B соревнуются за ранг, C может вступить в союз сначала с A, потом с B. Это даст ему то преимущество, что

как А, так и В будут вести себя по отношению к нему с некоторым почтением и вниманием, добиваясь его поддержки. Таким образом, внутри группы социальные отношения становятся достаточно сложными. Этот принцип "политического" поведения выходит далеко за рамки наблюдаемого у крыс.

Подобное поведение становится возможным в основном потому, что шимпанзе, в отличие от крыс, распознают индивидуальность друг друга, В "высших" областях мозга приматов имеется сложный детектор признаков, клетки которого реагируют возбуждением лишь на обезьяньи или человеческие лица и который может с большой точностью отличать одно лицо от другого. С помощью такого "детектора лиц" шимпанзе могут распознавать друг в друге определенных особей и, кроме того, каждый может оценивать социальный статус другого.

У человека тоже есть подобный детектор; при повреждениях соответствующей области мозга наступает состояние, называемое "прозопагнозией" (по-гречески "неузнавание лиц"). Способность узнавать другие предметы не нарушается, но больной перестает различать лица даже близких друзей и родственников. "Детектор лиц" — это по крайней мере отчасти врожденное образование, так как младенцы начинают специфически реагировать на лица вскоре после рождения.

Между некоторыми индивидуумами иногда устанавливаются отношения, выходящие за пределы доминантности и подчиненности: это то, что мы называем дружескими отношениями. Друзьями в сообществе шимпанзе становятся главным образом (хотя и не исключительно) те, кого мы можем считать членами одной семьи, а поскольку отцовство у них неизвестно, это означает родственников по материнской линии. Связи между братьями и сестрами могут продолжаться и во взрослом состоянии. Реже бывают случаи установления таких отношений между животными, не связанными родством. Друзья поддерживают друг друга разными способами, в том числе оказывают помощь в повышении иерархического статуса.

Главная функция доминантности состоит в обеспечении большего согласия во внутригрупповых отношениях. Когда каждый знает свое место, драки и ссоры сводятся к минимуму. И действительно, в периоды временного расшатывания социальной структуры, например когда нет бесспорного альфа-самца, конфликты в сообществе сильно возрастают.

Высокий ранг обеспечивает шимпанзе некоторые преимущества, не особенно отягощая обязанностями. Если группа отправляется куда-нибудь, ее члены проявляют некоторую склонность

следовать в том же направлении, что и доминантный самец, который, случается, обнаруживает признаки раздражения, когда они этого не делают. Поскольку подчиненные особи считаются с высшими по рангу, эти последние получают доступ к пище или самкам в первую очередь. Индивидуум высокого ранга раздражается при виде мелких стычек, особенно между подростками, и часто вмешивается, чтобы навести порядок. Он также более активный защитник: угрожает пришельцам и иногда выручает детеныша из опасной ситуации. Но в целом он лишь в незначительной степени берет на себя роль "лидера".

Обычное состояние социальных взаимоотношений в группе довольно мирное. Шимпанзе переменчивы и эмоциональны, они нуждаются в поддержке и успокоении, проявляющихся в виде телесных контактов и повторяемых во взрослом состоянии жестов и поз, к которым прибегала мать для утешения детеныша. Подчиненная особь приближается к доминантной в состоянии тревоги и страха; тем не менее она подходит все ближе и ближе, ожидая, чтобы к ней прикоснулись и обняли, после чего сразу же успокаивается. И доминантные особи без колебаний оказывают поддержку такого рода, даже если только что угрожали низшему по рангу. В случае счастливых событий, например при поимке кустарниковой свиньи, шимпанзе могут впадать в радостное возбуждение, прыгая, обнимая и целуя друг друга.

В неволе отношения между шимпанзе можно испортить, познакомив животных с "рыночной экономикой". Однажды их стали вознаграждать за работу, например за передвижение ящиков с песком, жетонами, с помощью которых они могли получать от специального автомата лакомства. Как только члены группы узнали об этом, они начали воровать и припрятывать жетоны и вообще вести себя по отношению друг к другу явно недружелюбно. Но поскольку продуктивность, выраженная в перетаскивании ящиков с песком, возросла, приходится признать все это прогрессом.

Статус самки

Самец крупнее и сильнее, но практически не участвует в заботе о потомстве, составляющей главное занятие самки. Чем больше она произведет потомков, способных ее поддерживать, тем выше будет ее ранг. Молодым самкам приходится утверждать свое положение в группе. Это особенно касается тех, кто пришел из других групп и поначалу обычно не пользуется благосклонностью других самок.

Дочь и в несколько меньшей степени сын связаны с матерью

прочными узами, как правило, в течение всей жизни. Дочь окажет матери поддержку в разных ситуациях, когда той понадобится помощь. Скажем, если мать больна, никто особенно не сочувствует ей, но дочь может приносить корм и дежурить возле нее. Такую же поддержку оказывают друг другу братья и сестры. Когда мать умирает, старший из детенышей прилагает все старания, чтобы помочь младшим, хотя во многих случаях, разумеется, безуспешно[1].

Подобные связи, приводящие к альтруистическому поведению и взаимопомощи, изредка могут устанавливаться и между членами группы, не состоящими в прямом родстве. Если кто-нибудь из шимпанзе подвергся нападению опасного животного во время охоты, другие приходят ему на помощь. Случалось видеть, как самцы спасают тонущих детенышей, иной раз даже с риском для собственной жизни. Но помимо таких экстремальных ситуаций взаимопомощь между особями, не состоящими друг с другом в родстве, не характерна для сообщества шимпанзе. Тем не менее особи, взятые на "воспитание" людьми, могут демонстрировать такое поведение, которое трудно объяснить иначе как любовью и симпатией к тем, кто им нравится и находится рядом. По-видимому, это связано с тем, что между обезьянами и людьми развивается в таких случаях нечто подобное узам родства.

Репродуктивное поведение

Поведение самки определяется ее репродуктивным циклом. Если она не беременна и не кормит детеныша грудью, каждые 36 дней у нее наступает эструс — состояние сексуальной готовности (рецептивности). Об этом событии оповещаются все: у самки развивается обширная припухлость в аногенитальной области, хорошо заметная всем и в первую очередь, конечно, самцам.

Самки в состоянии эструса активно добиваются благосклонности самцов и ищут знаков внимания; они часто смотрят на пенис, который, по обезьяньим стандартам, у шимпанзе представляет собой крупный и приметный объект. Длина эрегированного пениса

[1] Взаимопомощь наблюдали у представителей многих видов. Так, дельфины и слоны пытаются помочь больным и раненым сородичам, но у обезьян подобные случаи редки. Во время испано-рифской войны в 1920 г. на севере Марокко испанские солдаты стреляли по "берберийским обезьянам" (макакам), тренируясь в меткости. Они наблюдали, как обезьяны уносили раненых. Возможно, однако, что среди уносимых были в основном детеныши, вызывающие наибольшее сострадание. В скобках заметим, что с рифами испанцы воевали не так успешно, как с обезьянами: от окончательного поражения их спасли французы, атаковавшие рифов с тыла.

достигает у него 8 см — по сравнению с 3 см у гориллы, 4 см у орангутана и в среднем 13 см у человека. Однако эрекция сама по себе вовсе не обязательно служит признаком сексуального интереса, поскольку бывает и при других состояниях возбуждения. Проявляющий сексуальный интерес самец нюхает и тщательно обследует гениталии самки, желая, видимо, убедиться, что та действительно в эструсе, а потом проводит ухаживание, во время которого может раскачивать ветки, стучать одной рукой по земле и т. п. Эти элементы заимствованы из репертуара агрессивного поведения, и они действительно могут перейти в угрозы в адрес самки и даже нападение на нее.

Спаривание тоже нередко организуется по одному из установленных образцов — по типу сексуальной группы или же супружеской пары. В присутствии нескольких самцов самка в эструсе может стать центром сексуальной группы. Обычно самцы начинают по очереди спариваться с самкой, не проявляя враждебности по отношению друг к другу, так что все носит миролюбивый характер. Если в группе не оказывается самца высокого ранга, процедура, продолжаясь, становится уже беспорядочной: у самцов могут появляться собственнические притязания, начинается общая толчея, а то и драки. В присутствии самца-доминанта ситуация носит более контролируемый характер, так как он обычно проводит большую часть времени с самкой и отпугивает других самцов.

Находясь в группе, самка обычно проходит через 20-30 "раундов" спаривания, но иногда регистрировалось и до 50. Самцы могут спариваться по три раза в течение 5 минут. Благодаря крупным семенникам, составляющим по весу 0,27% от всего тела (что в 16 раз больше, чем у гориллы, и в 2,4 раза больше, чем у человека), сперма у них образуется в изобилии. Очевидно, это адаптация к жизни в сообществе с беспорядочным спариванием, где самок больше, чем самцов, а сексуальная активность продолжается в течение всего года. У человека крупные гениталии мужчин, видимо, свидетельствуют, что и люди некогда жили в таких группах, для которых был характерен значительный интерес к сексу, хотя, может быть, и несколько меньший, чем у шимпанзе. В отличие от этого у горилл интерес к сексу очень невелик.

В конце группового спаривания самец может попытаться установить с самкой более постоянные отношения, уведя ее прочь и образовав "супружескую пару". Это требует определенного умения и оценки ситуации, ведь вначале нужно убедить самку, а потом улучить момент, когда внимание других самцов будет отвлечено на что-то другое. Когда самку уводят, она обычно колеблется

и, услышав крики других самцов, стремится вернуться обратно. "Супружество" может длиться от нескольких дней до нескольких недель, причем пара пребывает в основном в отдаленных частях группового ареала. Самец в это время враждебнее относится к приближающимся соперникам, но главным объектом его враждебности при этом становится самка: он демонстрирует угрозы и атакует ее, если она обращает внимание на других самцов. Самка вскоре усваивает, как нужно себя вести, однако ее послушание распространяется лишь на то время, когда "повелитель" находится рядом.

Самцы отдают явное предпочтение одним самкам перед другими: очевидно, некоторые из них кажутся более привлекательными. Обычно неотразимыми оказываются старшие, а иногда и совсем старые самки.

Использование и изготовление орудий

Способность использовать, а тем более изготовлять орудия до недавнего времени считалась специфически человеческим свойством, не встречающимся у других животных. И вновь шимпанзе показывает нам ошибочность этого мнения, демонстрируя ранний этап использования орудий и примитивную стадию их изготовления.

Подобно большинству биологических функций, процесс использования орудий формировался постепенно. Так называемой орудийной деятельности предшествовало манипулирование предметами для достижения какой-то цели. Например, бобры используют палки и бревна для строительства плотины, птицы манипулируют предметами для сооружения гнезд. Еще ближе к настоящему использованию орудий подошли морские выдры (каланы) из отряда хищных. Прихватив плоский камень и положив его на грудь, они берут лапами моллюска и, держась на поверхности воды, разбивают его твердую раковину о каменную "наковальню" (рис. 28-2).

Большинству высших животных недостает не столько анатомических, сколько нервных механизмов, необходимых для орудийной деятельности. Использование и изготовление орудий — это побочное следствие способности "прокрутить" желаемую ситуацию в воображении. Приматам было легче развить соответствующие нервные механизмы, так как у них уже была рука, наиболее подходящий инструмент для манипулирования предметами.

В неволе шимпанзе без труда обучаются пользоваться велосипедом, ложкой, отверткой, нужными выключателями, ключами и другими подобными приспособлениями. Кроме того, они обла-

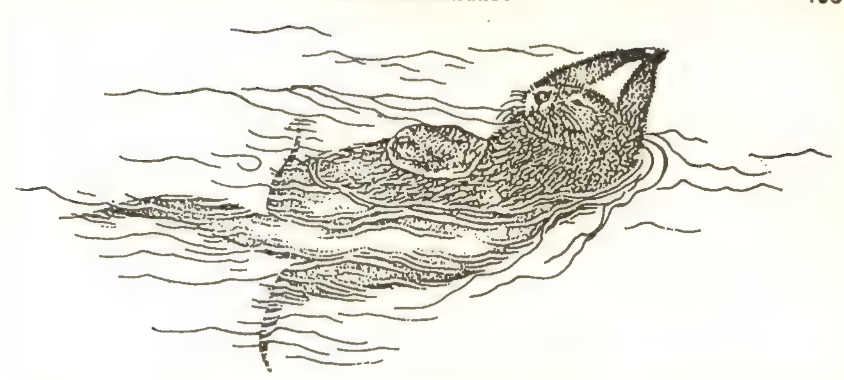


Рис. 28-2. Каланы (морские выдры) в ограниченной степени пользуются орудиями. Плавая в воде и поместив на живот плоский камень, они разбивают об него твердые раковины моллюсков.

дают способностью "учиться обучению". Если оказывается, что решение одной задачи связано с успешным применением кнопок и рычагов, они тотчас пытаются найти их и использовать для решения следующей задачи. Но, как было отмечено, не все шимпанзе рождаются с одинаковыми задатками. Некоторые из них очень умны, другие явно глупы.

При таких способностях вряд ли следует удивляться, что использование предметов в качестве орудий дикими популяциями шимпанзе встречается часто и носит систематический характер (рис. 28-3).

1. Наиболее обычно использование камней как метательных снарядов. Ими швыряют в соперников, врагов, в добычу, на которую охотятся, хотя, как правило, с расстояния всего лишь в несколько метров. Целятся обезьяны не очень удачно, но поскольку снаряд может весить до 5 фунтов, его попадание иной раз приводит к серьезным последствиям. Довольно часто более крупные камни скатывают по склону, стремясь поразить тех, кто находится внизу. Орангутаны и некоторые низшие обезьяны бросают также палки и ветки с деревьев, стараясь попасть в людей, присутствие которых их раздражает; вероятно, это наиболее примитивная форма использования орудий приматами.

2. Деревянное "оружие" хотя и не применяется в охоте, может служить для отпугивания опасных хищников; на рис. 28-3, *В* изображено, как самец шимпанзе, вооруженный большой палкой, бросается на леопарда (в данном случае на его чучело). Не считая некоторых деталей, эта сцена вполне могла быть взята из жизни наших далеких предков.

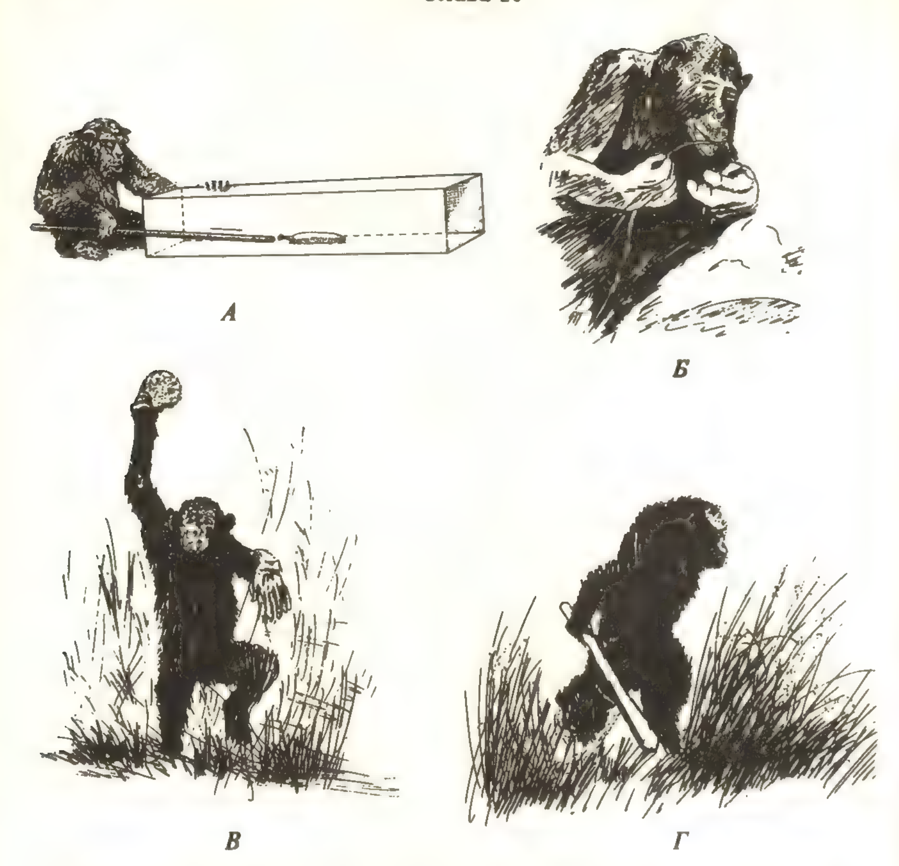


Рис. 28-3. Орудийная деятельность шимпанзе. *А.* Использование палки для выталкивания банана из ящика. Большинство других животных не способно к предвидению и воображению, которые нужны, чтобы сначала оттолкнуть предмет дальше от себя с целью сделать его досягаемым. *Б.* Использование прутика для извлечения термитов из их гнезда. *В.* Бросание камня в сторону вторгшегося человека. *Г.* Самец, держа в руке дубинку, угрожает леопарду.

3. Орудием, используемым с особым постоянством, служит прутик или стебелек травы, который засовывают в гнезда термитов. Затем его извлекают, слизывают вцепившихся в него термитов и поедают их. Обезьяны часто подбирают такие орудия довольно далеко от термитников, что говорит о способности предвидеть ситуацию, и "подрабатывают" их зубами. Последнее может служить ясным примером изготовления орудия.

4. Чтобы доставать воду из небольших дупел в стволах деревьев, шимпанзе систематически пользуются таким приемом: они пережевывают или комкают листья, изготовляя своеобразную губку, которую опускают в воду, а потом высасывают впитавшуюся жидкость.

5. Наблюдатели часто отмечали использование листьев для очистки ног от грязи или удаления меда с рук.

6. В Западной (но не в Восточной) Африке шимпанзе пользуются методом "молота и наковальни" для разбивания пальмовых орехов. Плод помещается на "наковальню", которой служит камень или корень, а потом разбивается ударом камня. Этот способ один из самых старых — древние наковальни, т. е. камни со следами и щербинами от ударов, найдены во многих местах. Считается, что это одна из наиболее развитых форм орудийной деятельности у шимпанзе в природе, поскольку здесь используются, предположительно, те же операции, что и при изготовлении самых примитивных каменных орудий человеком. Положите гальку на наковальню, а потом ударьте по ней — может получиться обломок с острым краем. Шимпанзе никогда не были замечены за этим занятием. Но сам по себе переход от разбивания пальмового ореха к разбиванию гальки не требовал бы особых способностей; но они требуются для предвидения того, что разбитая галька может быть полезной. Как показывает обработка прутиков для выуживания термитов, шимпанзе способны к предвидению, но не в такой степени, чтобы заранее представить себе режущие орудия. Тем не менее они близко подошли к этому, так как в неволе одного карликового шимпанзе удалось научить расщеплять камни и использовать отщепы в качестве орудий.

Хотя шимпанзе далеко обогнали в своем развитии других животных, многие из их способностей встречаются и у представителей более низких эволюционных уровней. Южноамериканских обезьян обычно считают интеллектуально несколько менее развитыми по сравнению с их "старосветскими" родичами; тем не менее капуцины в неволе используют гальки, чтобы разбивать орехи, палки, чтобы притягивать к себе недосягаемую для рук пищу, а один даже научился сам, без подсказок, вывинчивать рукоятку от щетки и ввинчивать ее обратно. Другой нагромождал ящики, взбирался наверх и доставал свисающий с потолка банан. Такого рода действия, когда их впервые наблюдали у шимпанзе, считались проявлением исключительного интеллекта.

Наблюдения над капуцинами говорят о том, что способности сначала появляются в латентной форме. Капуцины уже обладают потенциями к изготовлению орудий, но они реализуются только

в неволе. Более развитые шимпанзе используют, а до некоторой степени и изготовляют орудия в природных условиях, но они тоже намного успешнее занимаются этим в неволе. Способность использовать орудия развилась значительно раньше, чем находила практическое применение, точно так же как способность человека писать сформировалась прежде, чем он научился письму.

Кормежка и охота

Шимпанзе в основе своей вегетарианцы, они питаются главным образом фруктами, орехами и другой растительной пищей. Они любят также насекомых, прежде всего термитов и бродячих муравьев, могут разорять гнезда, забирая оттуда яйца и неоперившихся птенцов, иногда не преминут ухватить и съесть птичку, но особенное удовольствие им доставляет мясо более крупных животных. Считается, что умение вести охоту явилось одним из важных шагов в эволюции человека, поэтому любые проявления этой деятельности у шимпанзе представляют для нас особый интерес.

Шимпанзе охотятся с энтузиазмом, но без большой ловкости. Не обладая специально приспособленными зубами, как у хищников, или режущими орудиями, они испытывают также трудности при разделке добычи. В резервате Гомбе излюбленным объектом охоты были кустарниковые свиньи, гверецы и павианы. Поскольку все они, особенно павианы, — довольно опасные животные, практически охота заключается в том, чтобы схватить детеныша и отразить атаку разъяренных родителей. Охота на кустарниковых свиней состоит в основном в нахождении логова и захвате одного или двух поросят, на павианов — в обнаружении самки с детенышами, отбившихся от сородичей, чтобы можно было схватить малыша, пока не подоспеют остальные.

Шимпанзе могут охотиться и в одиночку, но чаще делают это группами из двух или более особей. Самки охотятся намного меньше самцов. Заметив жертву, шимпанзе может сообщить об этом выражением лица или жестом. Они охотятся молча, и только если выясняется, что их обнаружили, охота становится шумной. Гверец преследуют и на деревьях, и под деревьями; некоторые из охотников, пытаясь отрезать возможные пути к отступлению, взбираются на соседние деревья, куда могла бы перепрыгнуть убегающая обезьяна, другие стерегут на земле, пока кто-нибудь не влезет на дерево и не спугнет будущую жертву. Но все же охота организована плохо, и шимпанзе вряд ли получили бы хорошие оценки от настоящих охотников, таких, как львы.

Никакого специального оружия вроде, например, палок во время охоты не используется, но камни иногда летят в добычу, особенно в кустарниковых свиней. Пойманную жертву убивают разными способами: кусают, чаще в голову; топчут ногами или с размаху ударяют о камень. Часто шимпанзе начинают и продолжают трапезу, когда жертва еще жива. Особым деликатесом считается мозг. Чтобы извлечь его из более крепких черепов, приходится делать дыру в основании рядом с большим затылочным отверстием, через которое проходит спинной мозг. Интересно, что подобные следы часто встречаются и на древних человеческих черепах.

В случае крупной добычи вроде кустарниковой свиньи, вес которой достигает 20 фунтов, ясно видно, что хотя шимпанзе и едят мясо, в анатомическом отношении это не настоящие хищники. Несмотря на большие клыки, разделывание туши дается им с трудом, так что проходит немало времени в попытках откусить кусок или оторвать его руками, прежде чем трапеза становится приятным делом. Очевидно, что в данном случае были бы весьма полезны даже самые примитивные режущие орудия.

Дележ пищи

Дележ пищи между самцами и самками с детенышами был одной из тех особенностей, которые привели к появлению у древнего человека групп, связанных тесными узами. Но если не считать матерей с их отпрысками, дележа растительной пищи в сообществе шимпанзе, как правило, не происходит. Однако мясо представляет собой исключение. Кто бы ни был обладателем добычи, его тотчас окружают просители, которые тянут к нему руки, надоедая мольбами. Если мясом владеет самец высокого ранга, ему удается какое-то время сдерживать попрошаек, но в конце концов даже он начинает раздавать куски, а то и оставляет всю тушку. Или в суматохе кто-нибудь стащит тушку и отправится с ней в другое место, а там все начнется снова. Конечно, это тоже дележ добычи, но очень своеобразный и весьма неупорядоченный.

Коммуникация

Очевидно, что в подобных сообществах между их членами должна осуществляться коммуникация. Те ее формы, которым обучали живущих в неволе шимпанзе, в природе не существуют, зато там для этой цели широко используются жесты и голосовые реакции (вокализации). Для шимпанзе характерно широкое разнообразие

выражений лица, а также телодвижений, за которыми другие следят как за признаками настроения или намерений. Некоторые из них могут не быть специально коммуникативными, другие же, по-видимому, предназначены именно для этого.

Многие жесты, играющие коммуникативную роль, представляют собой "интенционные" движения, т. е. незавершенные движения, позволяющие зрителям предсказать намерения и будущее поведение того, кто ими пользуется. Например, доминантный индивидуум с помощью такого движения подает группе сигнал, что он намерен уйти и все должны за ним последовать. Эта способность животных к интерпретации жеста может развиваться до невероятной степени. Собаки научаются так хорошо угадывать намерения хозяев, что те думают, будто их питомцы понимают человеческую речь.

Интенционные движения могут стать своего рода ритуалом. Для гориллы покачивание головой, произведенное особым способом, означает "подчинение" или "я не причиню вреда". Шаллер, который наблюдал за гориллами в природе, обнаружил, что стоит ему покачать головой надлежащим образом, как животное тотчас становится менее встревоженным.

У человека способность к интерпретации движений гораздо менее развита из-за того, что речь делает ее не столь нужной, но все-таки она есть и у нас. Джозеф Краус из Праги, известный под сценическим именем Фред Марион, мог находить предметы с помощью "телепатии", не видя, как их прятали, скажем, в чей-нибудь карман, если только это видели зрители. В 1930 г. его детально обследовали в Англии, где было ясно показано, что среди достаточно большой аудитории всегда найдутся люди, которые будут делать неосознанные наводящие движения по мере приближения исполнителя к спрятанному предмету, и что Фред Марион руководствовался именно этим.

Вокализации

Сигнализацию с помощью жестов дополняют голосовые реакции. Было принято думать, что все издаваемые шимпанзе звуки, как и у низших животных, — это всего лишь побочные продукты их эмоционального состояния. Поэтому считалось также, что шимпанзе не способны издавать подобные голосовые сигналы, если не испытывают соответствующих эмоций. Подобно Джорджу Вашингтону, они будто бы не могут "лгать", т. е. выражать такое эмоциональное состояние, которого на самом деле нет.

Это может быть и верно в тех случаях, когда вокализация действительно лишь побочный продукт эмоционального состояния — ведь и мы вскрикиваем от боли или охаем, когда удивлены. Но шимпанзе знают, что их голосовые реакции выполняют также коммуникативную функцию, и поэтому могут пытаться скрыть свои эмоции, если в этом есть необходимость. Например, молодой шимпанзе, наслаждаясь каким-нибудь изысканным лакомством, может повторять на своем "языке" нечто эквивалентное нашему "вкуснота"! Смысл этого звука понятен соплеменникам, которые могут подойти и отобрать деликатес. После некоторых таких случаев подросток осознаёт, что грабителей привлекает издаваемый им голосовой сигнал, и в дальнейшем уже поглощает пищу молча. Но обычно не совсем молча: наблюдая, можно заметить, как дергается его горло, производя тот же звук, но очень ослабленный. И наоборот, шимпанзе может вокализировать не от избытка чувств, а с явными коммуникативными целями.

Существует около 20 звуковых сигналов, служащих для коммуникации. Например, негромкое похрюкивание, издаваемое особью более высокого ранга, означает довольно-таки мягкое "нет", "прекрати", "не трогай мою пищу", "иди прочь". Оно выражает в основном настроение легкого неудовольствия, но если говорить о последствиях, то его перевод соответствует повелительному наклонению глаголов: "не..." (не делай и т. д.). Звук "хуу" служит для выражения легкого удивления или беспокойства, но коммуникативно интерпретируется как "псевдо-существительное" и означает "змею", "маленькое животное" или "что-то шевелящееся в траве". Услышав этот звук, остальные шимпанзе осторожно подходят посмотреть на подозрительный объект. Еще один звуковой сигнал издается при виде пчелиных сотов или бродячих муравьев и означает "лакомство, которое кусается".

Вокализации, жесты и мимические выражения шимпанзе, как и наше "ах!", носят в основном врожденный характер, но правильное их использование в некоторой степени зависит от обучения. Об этом свидетельствуют примеры неверного их употребления животными, которые выросли в неволе, а потом были выпущены в стадо своих диких собратьев. Кроме того, время от времени обезьяны изобретают новые, дополнительные сигналы. Так возникают "диалекты" — некоторые различия в коммуникативных сигналах у разных групп шимпанзе.

Во многих практически важных ситуациях какого-то сочетания подобных голосовых сигналов и жестов достаточно для передачи информации. Это не язык в нашем понимании: один шимпанзе не может сказать другому, что "налево от большого дерева лежит



Рис. 28-4. Два молодых самца стараются остаться незамеченными при патрулировании границ своей территории.

груда бананов". Но даже в таких случаях передается нечто сходное, хотя и не вполне адекватное. Одному шимпанзе показывали во дворе змею или кучу бананов, а потом запирали в помещении вместе с остальными. Когда их выпускали, все шли следом за "знающим" к тому предмету, который он раньше видел. Это могло быть результатом интерпретации его целенаправленных движений, означавших просто "следуйте за мной!". Однако животные как будто понимали, чего ожидать: к груде бананов они двигались в радостном оживлении, а к змее подходили неохотно, вздыбив шерсть. "Знающий", вероятно, сообщил им, что видел "что-то хорошее" или "что-то плохое", не обязательно именно "бананы" или "змею".

Территория, ксенофобия и войны

Стадо шимпанзе имеет свою собственную, довольно постоянную территорию. Граница ее иногда четко очерчена ручьем, а иногда это просто периферийная зона, перекрывающаяся с соседней территорией. Шимпанзе хорошо знают расположение границ: забредая на чужую территорию, они сразу же замолкают и движутся крайне осторожно.

Границы патрулируются, хотя и нерегулярно. Обычно этим занимается группа из нескольких самцов (рис. 28-4); иногда их сопровождают самки в эструсе, с которыми они до этого уже поддерживали отношения, и даже детеныши этих самок. Приближаясь к границе, "патрули" ищут следы возможного вторжения, например комки изжеванных листьев или прутики для уженья термитов, брошенные чужаками, стараясь при этом двигаться скрытно и бесшумно. Они не только не издают голосовых звуков, но даже избегают наступать на сучья и шуршащие сухие листья. Если присутствующие в группе детеныши начинают шуметь, им мгновенно и решительно затыкают рот. Все это, кстати, еще раз говорит о наличии у шимпанзе "гипотезы о чужом сознании", т. е. представлений о том, что есть другие существа, которые могут услышать звуки и прореагировать на них так, как это сделали бы они сами. У границы члены патрульной группы взбираются на деревья и часами всматриваются в территорию, лежащую по "ту" сторону.

При встрече с чужаками дальнейшее развитие событий зависит от состава обоих отрядов. Если силы равны, дело может ограничиться демонстрацией угроз и враждебности с последующим отступлением обеих сторон. Если одна из сторон слабее, она подвергнется настоящей атаке; при этом один или два самца могут быть избиты или ранены. От жестокого нападения может пострадать самка в анэструсе с детенышем: ее могут серьезно ранить или убить, а детеныша съесть. Но если чужая самка в эструсе, перед патрульной группой встает дилемма, а поведение входящих в нее самцов становится двусмысленным: они то угрожают незнакомке, то ухаживают за ней. На практике сексуальная привлекательность обычно берет верх, и такие самки часто присоединяются к победителям.

Каннибализм

Когда пришлые самки подвергаются атаке, их детеныши могут быть съедены. Но иногда, хотя это и нетипично, случаи каннибализма происходят внутри группы. Одна самка с поддерживающей ее дочерью были замечены в нападении на местных самок с последующим похищением и поеданием их маленьких детенышей. Такая участь постигла семерых младенцев. Если подобная атака разыгрывалась в присутствии самца, он приходил на помощь матери с детенышем, но остальная группа не считала "каннибалов" преступницами и попросту игнорировала их поведение. В Гомбе отмечено два случая нападения самцов шимпанзе на человеческих детей: одного спасли, а второй был съеден.

Шимпанзе, однако, не едят своих взрослых сородичей, даже чужаков, поэтому их, строго говоря, нельзя считать каннибалами. Зато в некоторых африканских племенах принято охотиться на шимпанзе и горилл и питаться их мясом. Каннибализм ли это, зависит от точки зрения.

"Война"

Обычно защита территории ограничивается патрулированием и мелкими пограничными конфликтами; иногда, однако, эти конфликты переходят в настоящую "войну" с систематическими попытками проникновения на чужую территорию и уничтожения тамошних обитателей. В основе таких войн лежат три мотива:

а) стремление присоединить чужую территорию к своей, особенно если там имеется важный источник пищи;

б) шимпанзе свойственна крайняя ксенофобия. Как и у людей, вид чужаков вызывает у них сильное чувство враждебности; отсюда склонность рассматривать членов других групп как "не шимпанзе", с которыми нужно не просто бороться, а уничтожать их;

в) молодые самцы шимпанзе ищут приключений, видимо, находя их приятно возбуждающими событиями.

Всему этому противостоит трусость, которая служит своеобразным сдерживающим фактором; поэтому серьезная агрессия разыгрывается в приграничной полосе только тогда, когда одна из сторон явно слабее другой.

Во время "войн" атаки отличаются крайней жестокостью и кровожадностью, так как ведутся не по образцу внутригрупповых стычек, а со всеми атрибутами охотничьих вылазок. Практикуется выворачивание конечностей в попытке оторвать их, разрывание частей тела и питье крови у беспомощно лежащей жертвы. Победители также стремятся не дать жертве уйти, что совсем не характерно для внутригрупповых стычек. Но "войны" шимпанзе несравнимы с нашими, ибо они лишены четкого замысла и организации. Например, жертвы агрессии не принимают защитных мер, таких, как образование групп для организации засады и контрудара.

Многие считают, что после достижения более организованной стадии во́йны стали мощным фактором отбора, способствующим развитию предусмотрительности и интеллекта у древнего человека. Подобный отбор был бы весьма эффективным, так как группы, имевшие перевес по этим свойствам, непосредственно уничтожали бы своих конкурентов, включая самок и детенышей.

Наши предки

В общей форме шимпанзе дает нам некоторое представление о том, каковы были способности и образ жизни наших предков, пока они еще не стали гоминидами, т. е. вполне похожими на человека в анатомическом смысле. Они уже пользовались орудиями и делали первые шаги в их изготовлении. Они жили группами, хотя еще не обладали речью, могли эффективно общаться друг с другом с помощью голоса и жестов. Они осознавали себя и других особей как "личности", а будучи способны учиться путем подражания, создавали традиции, передаваемые потомкам. Все это происходило где-то в промежутке времени от 5 до 10 млн. лет назад.

Очень важным было наличие у них скрытых способностей. Шимпанзе могут осваивать новое в результате обучения и подражания. Их можно научить пользоваться различными приспособлениями и орудиями, и они будут делать это намного лучше, чем в сообществе себе подобных. Они способны даже овладеть рудиментарной формой языка. Конечно, наших предков некому было учить, им оставалось самим тащить себя за уши. Это трудно, но все-таки возможно. Как наши предки это делали, рассказывает история раннего человека.

Литература

Goodall Jane. The chimpanzees of Gombe, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA and London, 1986.

Goodall Jane. In the shadow of man, Houghton Mifflin, Boston, 1971.

Kohler W. The mentality of apes, Routledge and Kegan Paul, London, 1925.

DeVore I. ed. Primate Behavior, Holt. Rinehart and Winston, New York, 1965.

Глава 29

Орудия и огонь

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Наши знания о поведении и деятельности древнейших гоминид — австралопитековых — крайне неполны. Они жили социальными группами в африканской саванне, изобиловавшей дичью, и вели отчасти хищнический образ жизни, но еще не изготавливали каменных орудий.

Первые представители древнейшего вида человека — *Homo erectus* — тоже обитали в Африке, но около миллиона лет назад их потомки стали заселять Евразию вплоть до Германии, Индии, Явы и северного Китая. В Африке изготовление орудий началось примерно 2,3 млн. лет назад; это нижняя граница палеолита, или "древнекаменного" века. На рубеже в 1 млн. лет *H. erectus* уже пользовался огнем. Благодаря хорошо сохранившейся стоянке во Франции древностью около 300 тыс. лет мы знаем, что *H. erectus* по крайней мере в более позднюю эпоху жил группами из многих десятков индивидуумов, которые передвигались в течение года по определенному маршруту в пределах собственной территории. Эти люди знали, как построить достаточно прочные убежища из веток, умели обрабатывать дерево и шкуры, ели разнообразную пищу.

К эпохе среднего палеолита *Homo erectus* эволюционирует в несколько разновидностей "архаического человека современного типа", из которых наиболее известны неандертальцы и близкие к ним формы. Их орудийный инвентарь более разнообразен, чем у людей нижнего палеолита, обработка шкур принимает широкие масштабы, и, возможно, появляются способы добывания огня. Территория, заселенная человеком, расширяется к северу, а также в глубь африканских лесов. В группах практикуется взаимопомощь, применяются элементарные хирургические приемы.

С точки зрения экологии главное воздействие палеолитического человека на окружающую среду было связано со случайным или намеренным выжиганием лесов. Это приводило к замене их травяными сообществами, что способствовало росту численности копытных, представлявших особую ценность как объект охоты. Огонь использовался также для загона дичи и, по-видимому, был при-

чиной массового вымирания многих видов. Все эти последствия употребления огня в палеолите можно назвать "огненной революцией", которая сравнима по значению с позднейшими сельскохозяйственной и индустриальной революциями.

Австралопитек

Хотя мы хорошо знаем анатомию наших предков австралопитеков, нам почти ничего не известно об их образе жизни. Они жили группами в африканской саванне, изобиловавшей дичью, и питались частично растительной, частично животной пищей. Есть данные о том, что некоторые из "массивных" австралопитеков, не входящие в прямую линию наших предков, пользовались прямыми длинными костями животных как палками для рытья земли. Однако нет никаких указаний на то, что кто-либо из австралопитеков умел расщеплять камни для получения режущих орудий. Вот, пожалуй, и все, что мы о них знаем.

Несколько условно считается, что переход от *Australopithecus* к *Homo erectus* произошел около 2,3 млн. лет назад. Именно последний начинает изготовлять каменные орудия, и с тех пор свидетельства о ходе нашей культурной эволюции становятся все более многочисленными.

Хронология каменного века

Палеолит, или древний каменный век, — это эпоха от начала изготовления каменных орудий до начала земледелия. Он в свою очередь подразделяется на нижний, средний и верхний палеолит.

1. Нижний палеолит, когда человек был представлен анатомическим типом *Homo erectus*, начинается около 2,4 млн. лет до настоящего времени и заканчивается около 130 тыс. лет назад. В отношении культуры нижний палеолит характеризуется двумя достижениями: изобретением способов обработки камней примерно 2,3 млн. лет назад и освоением огня, которое могло начаться около миллиона лет назад.

2. Средний палеолит длился примерно от 130 тыс. до 35 тыс. лет назад. К концу нижнего палеолита *Homo erectus* постепенно превращается в различные формы *Homo sapiens* — "архаического" современного человека. Наиболее известный вариант человека среднего палеолита — это неандерталец. В этот период значительно расширяется ассортимент каменных орудий, появляются

погребения умерших, а также слабые зачатки искусства. Сильно возрастает роль огня.

3. Верхний палеолит начинается около 35 тыс. лет назад и заканчивается в Европе и на Ближнем Востоке около 12 тыс. лет назад. Человек здесь уже вполне современного типа. Изобретается много новых орудий, в том числе иглы и гарпуны. Есть также свидетельства торгового обмена, более сложной социальной организации и того, что может быть названо началом магии и религии — предшественников науки. В пещерах Франции и Южной Африки появляется великолепная живопись, повсеместно распространяются также костяные и глиняные фигурки.

За верхним палеолитом последовал неолит, или новый каменный век. Это эпоха, когда орудия по-прежнему изготовляются из камня, но люди начинают заниматься земледелием. На Ближнем Востоке это происходит около 8000 лет до н. э. Датировка конца неолита менее определенна: он заканчивается в разных местах в разное время с появлением металлов и началом письменной истории — в Египте вскоре после 3200 г. до н. э., в Месопотамии несколько позднее.

Нижний палеолит

Первые каменные орудия, намеренное изготовление которых не вызывает сомнения, обнаружены в Африке и датируется 2,3 млн. лет до настоящего времени или даже несколько раньше. Это были гальки, оббитые для получения режущего края (рис. 29-1, *A*) и получившие собирательное название "олдувайской культуры" (от Олдувайского ущелья в Африке). Как показало изучение следов износа под микроскопом, некоторые из этих орудий использовались для обработки дерева и шкур, другие — для разделывания мяса. Покойный Луис Лики, выдающийся археолог и исследователь ранней эволюции человека, показал, что с помощью древнейшего галечного орудия можно освежевать и разделать антилопу за 20 минут. Такие орудия постепенно трансформируются в "ручные рубила" с большей протяженностью режущего края (рис. 29-1, *Б*).

Некоторые виды олдувайских орудий имеют особенности, из которых видно, в какой руке — правой или левой — их изготовители держали камень-отбойник. Судя по ним, самое позднее 1,9 млн. лет назад человек уже был по преимуществу праворуким. Подобная асимметрия возникает тогда, когда одно из полушарий мозга (как правило, левое) начинает доминировать над другим. У большинства млекопитающих явной асимметрии нет, хотя некоторые функции могут быть значительно усилены в одном полушарии по сравнению с другим. У шимпанзе различия в использовании рук имеются, но число право- и леворуких особей примерно одинаково.

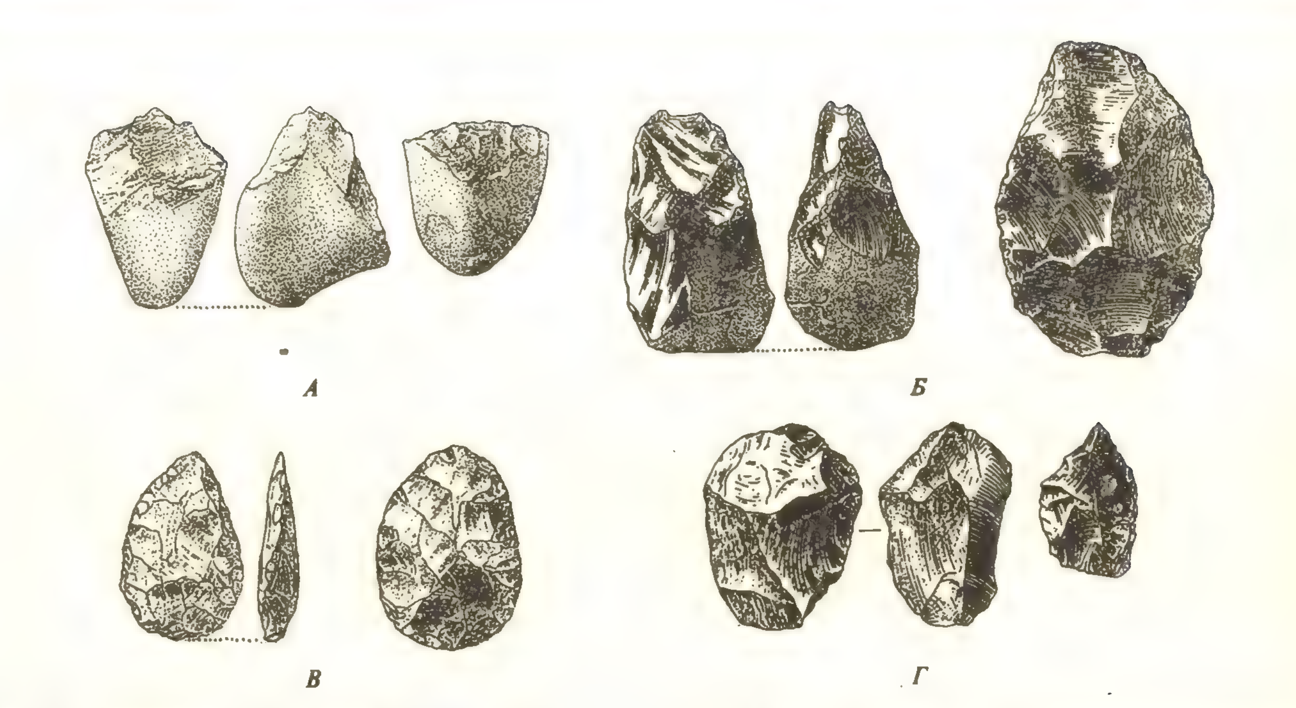


Рис. 29-1. Каменные орудия, которыми пользовался *Homo erectus* в нижнем палеолите. *А*. Древнейшие галечные орудия из Африки, изготовленные около 2,3 млн. лет назад. *Б*. Более поздние ручные рубила, сделанные ударами камня о камень методом перкуссии. *В*. Еще более поздние ручные рубила, изготовленные с помощью "мягкого" отбойника путем нанесения сколов. *Г*. "Чопперы", которыми пользовался *Homo erectus* на Дальнем Востоке, из пещер неподалеку от Пекина.

Уже упомянутая асимметрия мозга у *Homo erectus* представляет большой интерес, так как именно в левом, а не в правом полушарии находится участок, называемый областью Брока́, который играет особую роль в овладении речью и в ее понимании. Это позволяет предполагать, хотя и не доказывает, наличие зоны Брока или хотя бы ее зачатка у *Homo erectus*, который, следовательно, мог в какой-то мере пользоваться речью.

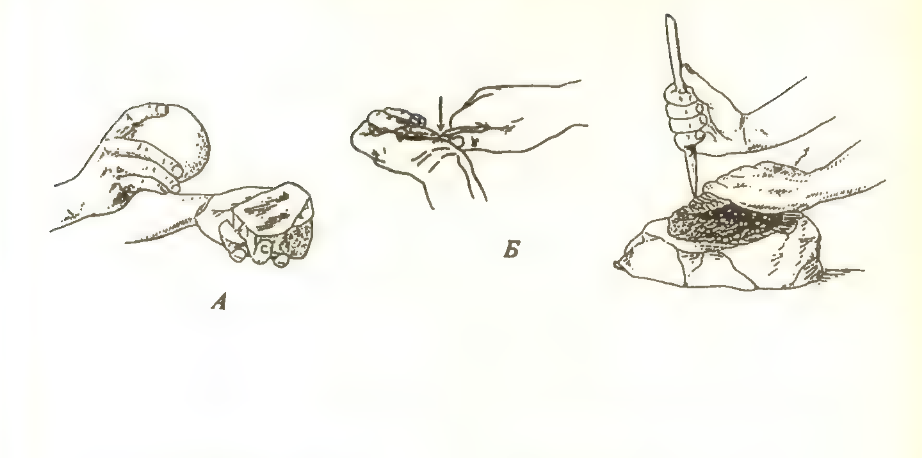
Самые ранние следы использования огня найдены в одной южноафриканской пещере. Ниже уровня, соответствующего 1,3–1,0 млн. лет, таких следов не обнаруживается, но выше этого горизонта встречаются кости, подвергшиеся обжигу на кострище. Использование огня было технологическим достижением, по своему значению уступавшим только изобретению каменных орудий.

Человек длительное время жил только в Африке, но около миллиона лет назад или чуть позже он начал распространяться и занял довольно обширную область на территории Старого Света (см. рис. 29-4). Его орудия находят к югу от линии, идущей от южной Англии через Венгрию до Кавказа; их много в Индии, на западных островах Индонезии, в юго-восточной Азии и Китае. Первоначально обитатель тропиков и субтропиков, человек проник теперь в зону с умеренным и даже холодным климатом.

На Западе культурным центром была Африка, где около 1,5 млн. лет назад был сделан большой шаг вперед в технике обработки камня. Африканцы обнаружили, что вместо нанесения ударов одним камнем по другому выгоднее использовать менее твердый отбойник, например кусок дерева или кости. При этом откалываются пластины меньших размеров, что позволяет достигать большего приближения к желаемой форме изделия (рис. 29-2). Подобная технология, характерная для ашельской культуры, дала улучшенную форму ручного рубила, которое стало своеобразным “фирменным знаком” западного нижнепалеолитического человека (см. рис. 29-1, *В*). Из Африки принципы изготовления таких ручных рубил переходят в Западную и Южную Европу, распространяясь к востоку вплоть до Бенгальского залива. На Дальнем Востоке ручных рубил не было, если не считать очень грубых образцов на Яве и нескольких в Китае: в этом регионе сохраняется простой способ обработки ударом камня о камень (см. рис. 29-1, *Г*). Орудия из дерева и кости тоже использовались человеком раннего палеолита, хотя они редко сохраняются (рис. 29-3).

Терра-Амата

Благодаря одной стоянке во Франции мы можем лучше представить себе жизнь человека на более поздних стадиях нижнего палеолита. В предместьях Ниццы, на средиземноморском побережье



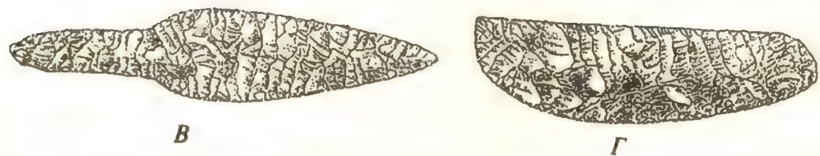


Рис. 29-2. Отжимная ретушь. *А.* Древний метод обработки орудия путем удара одним камнем о другой. *Б.* Отделение отщепов путем надавливания на камень "мягким" орудием, таким, как дерево или кость. Это метод успешно использовался человеком *Homo erectus* в "западной" культурной провинции, но достиг совершенства лишь спустя много времени. *В, Г.* Кинжал и нож — прекрасные кремневые изделия, изготовленные с помощью отжимной ретуши в раннем историческом периоде Египта.

Франции, есть магистраль под названием Терра-Амата. Здесь во времена палеолита, около 300 тыс. лет назад, существовал прибрежный лагерь, ежегодно заселявшийся людьми на несколько дней в течение 11 лет. Здесь они охотились и разнообразили свой рацион рыбой и моллюсками; культурный слой каждого года заносился песком, благодаря чему и происходила его консервация. Сохранились следы крупных убежищ до 50 футов длиной, построенных из веток, которые закреплялись внизу камнями, выложенными в виде круга. Кровлю, какая бы она ни была, поддерживали крупные деревянные опоры. Внутри находились очаги — неглубокие ямы, защищенные обрамлением из камней с той стороны, откуда чаще всего дули ветры. Был найден отпечаток деревянной

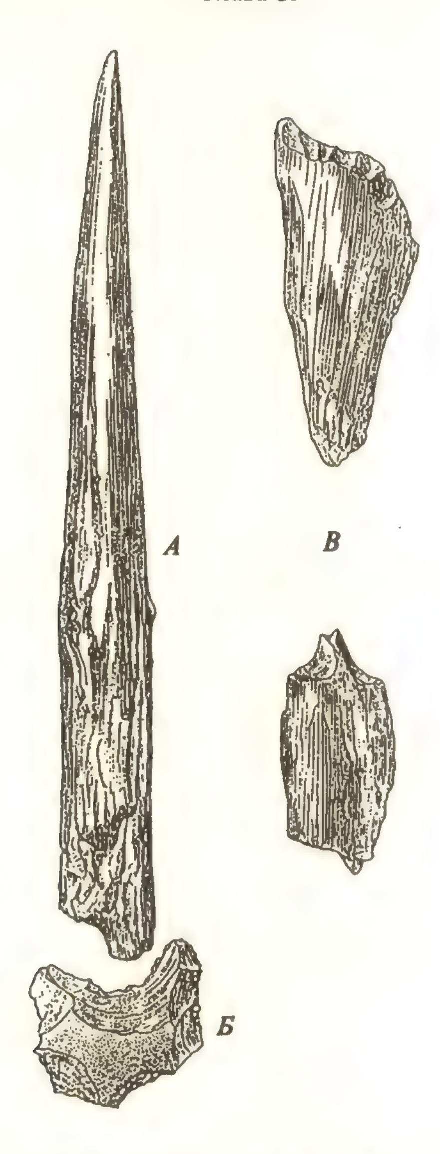


Рис. 29-3. *А.* **Конец деревянного копья из нижнепалеолитических слоев Англии.** *Б.* **Каменный скобель для обработки поверхности такого оружия.** *В.* **Два резца из кости.**

миски, а на песке остались следы от шкур. На шкурах, должно быть, сидели, так как вокруг были разбросаны отходы, получаемые при обработке камня. Шкуры могли также использоваться в качестве одежды. Кроме того, в лагере нашли несколько кусочков красной охры[1)], истертых до блеска. Возможно, их использовали как красители, например при разрисовке тела.

Судя по размерам лагеря в Терра-Амата, численность группы составляла что-нибудь около 20–40 индивидуумов. Очевидно, группа была подвижной: одно из найденных орудий изготовлено из такого камня, который встречается только за 30 миль от этого места. Поскольку стоянка заселялась лишь на несколько дней в году, жизнь ее древних обитателей, по-видимому, состояла из серии миграций вслед за дичью или другими пищевыми ресурсами, с ежегодным возвращением на одно и то же место.

Средний палеолит

Почти незаметно *Homo erectus* становится архаическим *Homo sapiens*, около 130 тыс. лет назад нижний палеолит заканчивается и начинается следующий период — средний палеолит.

В этот период заселенная человеком территория увеличивается. Его остатки находят теперь и в Центральной Азии, и в южной России, и он начинает осваивать тропические леса Африки, практически не заселенные или малозаселенные на протяжении нижнего палеолита. Но мир, в котором он жил, сильно отличается от того, который знаем мы.

Ледниковые эпохи

Эволюция человека происходила в довольно необычный период истории Земли. Климат Земли, как правило, достаточно мягкий, но время от времени температура слегка понижается, на полюсах и горных вершинах образуются ледовые щиты. Наступает так называемая "ледниковая эпоха". Современный ледниковый период начался около 3 млн. лет назад и, если судить по предыдущим, он может продлиться десятки миллионов лет.

Главные ледниковые эпохи перемежаются межледниковыми, или интергляциальными, когда льды частично отступают, как в

[1)]Охра — глинистая или известковая почва, окрашенная окисью железа в красный, коричневый, желтый или фиолетовый цвет. В верхнем палеолите ее широко использовали для пещерной живописи и раскраски тел умерших; она и до сих пор служит основой многих современных красок.

эпоху, в которую мы живем. Климат во время интергляциала, непосредственно предшествующего нашему, был примерно таким же. Затем, примерно 130 тыс. лет назад, температура стала понижаться, хотя и с многочисленными колебаниями, пока не достигла около 20 тыс. лет назад самого низкого уровня. Ледниковый панцирь толщиной в тысячи футов снова закрыл значительную часть северного полушария, и покрылись льдом самые возвышенные места в южном — в Австралии, на Новой Гвинее и, конечно, в Антарктике. Но около 15 тыс. лет назад льды начали внезапно таять, и мы живем теперь в очередную межледниковую эпоху (рис. 29-4, *А*).

В Европе и Америке основное воздействие ледников выразилось в появлении зоны тундры по их краям. Она напоминала нынешнюю арктическую тундру, но была расположена южнее, так что солнце поднималось выше, а климат был мягче. В других местах, например в Африке, оледенение приводило к уменьшению количества осадков, и происходило опустынивание больших открытых пространств — зона лесов превращалась в саванну.

Оледенение сильно изменило и общие контуры суши и морей (рис. 29-4, *Б*). Поскольку значительная часть воды была связана льдом, уровень морей и океанов опустился почти на 70 м по сравнению с нынешним, и значительная часть суши, прежде покрытая водой, выступила наружу. Ост-Индия и Япония оказались частями Азии, Австралия соединилась с Новой Гвинеей, образуя континент, который мы называем Сагул, Америка оказалась связанной с Азией широким материковым мостом, известным под названием Берингии. Но южнее Аляски путь к Америке был перекрыт действительно грандиозными ледниками. В центральной Азии Каспийское море было намного больше и соединялось с Черным.

Человек среднего палеолита

В эпоху среднего палеолита появляются типы людей, которые мы объединяем под названием “архаический *Homo sapiens*”. Среди них были неандертальцы. “Классические” неандертальцы обитали в Западной Европе, на Ближнем Востоке и в Северной Африке. В других регионах архаический *Homo sapiens* был представлен иными вариантами, из которых одни отличались неандерталоидностью, а другие — нет. Как обычно, в ходе эволюции *Homo sapiens* разделяется на ряд различных форм.

Название “неандертальский человек” связано с именем немецкого автора гимнов Иоахима Неандера (1650–1680). Его фамилия Нейман была переведена на греческий (Неандер) за столетие до

А

Б

Рис. 29-4. *А*. Средняя температура в Антарктике, представленная как отклонения от нынешней, за последние 160 тыс. лет. Оценки основаны на изотопном составе воды, полученной из глубинных слоев льда возле исследовательской станции “Восток” советскими и французскими учеными. Считается, что хотя абсолютная температура в разных точках земного шара была различной, ее колебания аналогичны приведенной кривой. *Б*. География земного шара во время последнего оледенения, около 25 тыс. лет до нашего времени. Вероятно, она была такой же и в предшествовавшие ледниковые эпохи. “Лед” на Севере и на Юге здесь может означать как континентальные ледниковые щиты, так и морские льды. Основные регионы суши, находящиеся ныне под водой, были в Ост-Индии и Беринговом море, соединяя Азию с Америкой через “мост”, называемый Берингией. Япония тоже соединялась с Азией; Австралия и Новая Гвинея составляли один континент Сагул. Каспийское и Черное моря сообщались между собой. Пунктиром обозначены территории, заселенные человеком в различное время. Человек рано пересек водную преграду, отделявшую его от Сагула, но путь к Америке был закрыт огромным щитом материкового льда, который растаял около 13 тыс. лет назад (некоторые, однако, считают, что человек проник в Америку около 30 тыс. лет назад).

него, как нередко делали тогда люди с интеллектуальными претензиями. В честь рано умершего сочинителя гимнов местная долина получила название "Неандерталь" (Thal — в современном написании Tal — и означает по-немецки "долина"). Здесь в 1856 г. был найден древний человеческий череп. Это была первая находка ископаемого человека, явно отличавшегося от нас самих.

Неандертальский человек был довольно невысок ростом — около 160 см у мужчин и 145 см у женщин, но крепко сложен, его вес достигал 73 кг. Основные различия между современным человеком и неандертальцем касались строения черепа (рис. 29-5). Челюсть неандертальца была более массивна и лишена подбородочного выступа, череп имел шиньонообразный затылок и низкий, убегающий назад лоб, над глазами нависали тяжелые надбровные дуги. По крайней мере в некоторых популяциях мозг неандертальского человека был в среднем больше нашего и достигал 1600 $см^3$ (1515–1640 у мужчин, 1200–1245 у женщин, тогда как у современных популяций 1000–1600 при среднем значении 1350). Итак, неандертальский человек был вариантом *Homo sapiens* с крупным мозгом и лучше, чем мы, приспособленным для пережевывания пищи.

Технология

В среднем палеолите традиция изготовления ручных рубил прерывается; появляются более разнообразные орудия (рис. 29-4). Обилие скребел, приспособленных для обработки шкур, по-видимому, указывает на широкое использование их в качестве одежды. Иногда камни применялись также для вымостки пещерных жилищ.

Есть немало данных о гораздо более интенсивном использовании огня, чем в нижнем палеолите. Это позволяет предполагать новый технологический скачок, давший возможность не только использовать огонь, но и добывать его. Один из способов состоял в чирканье куска железного колчедана (пирита) о кусок кремня. Поскольку железный колчедан представляет собой сульфид железа, который сам может гореть, он дает долго не гаснущие искры, пригодные для воспламенения трута, например сухих грибов. Хотя трудно с уверенностью утверждать, что методы добывания огня были изобретены в среднем палеолите, желваки железного колчедана находят в пещерах, где жили неандертальцы, а в одном случае были обнаружены остатки трута. Но независимо от того, когда это произошло, изобретение способов добывания огня избавило людей от необходимости постоянно поддерживать его.

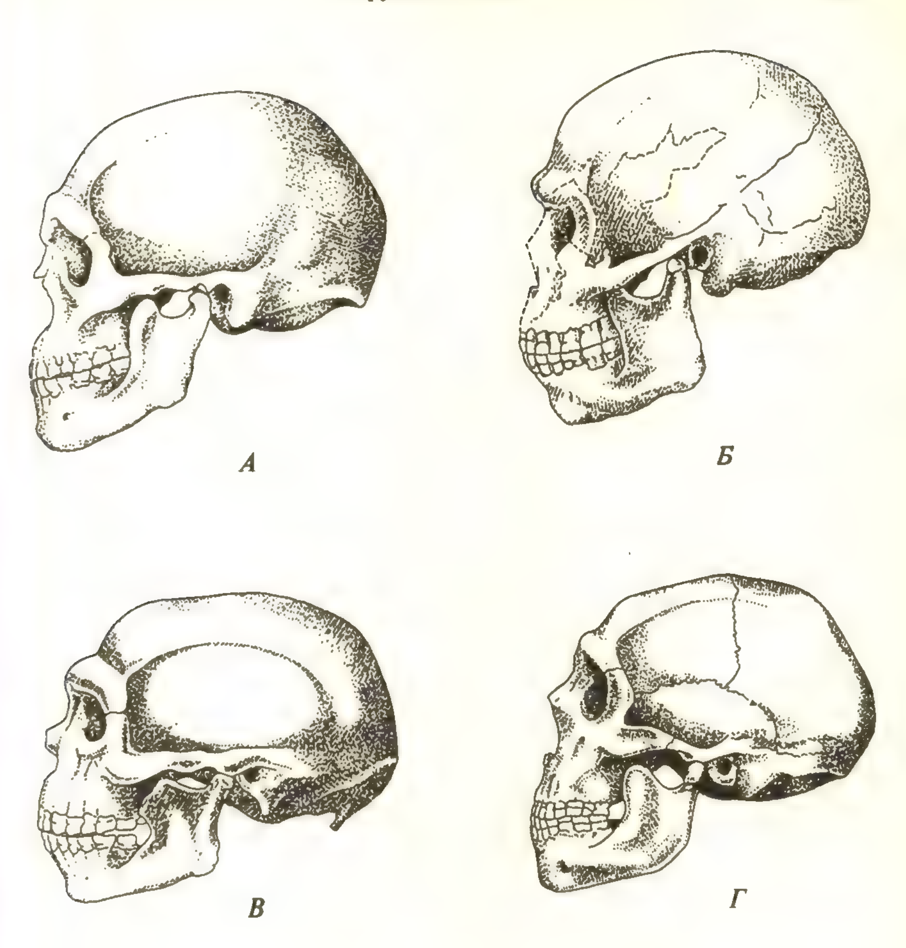


Рис. 29-5. Черепа современного и неандертальского человека. *А*. Сравнительно недавний австралоидный череп. У некоторых современных черепов, как и у этого, еще сохраняются хорошо развитые надбровные дуги. *Б* и *В*. Ранние верхнепалеолитические черепа из Палестины. *Г*. Череп примерно той же древности из северного Ирака. Обычно их рассматривают как варианты неандертальских черепов; но форма сильно варьирует даже внутри современных человеческих популяций, поэтому среди палеонтологов нередки разногласия относительно тех или иных ископаемых находок.

Демография и социальная жизнь

Внутри неандертальских групп существовала достаточно развитая взаимовыручка. Были, например, найдены останки стариков с выпавшими зубами и с артритом челюстных и других суставов, которые не могли охотиться или даже просто пережевывать большую часть пищи и тем не менее дожили до преклонного возраста благодаря поддержке других членов группы. У одного мужчины атрофированная рука была отнята выше локтя — первое свидетельство медицинской практики в истории человека. Очевидно, группы должны были обладать некоторыми хозяйственными излишками — иначе говоря, производили достаточно, чтобы прокормить тех, кто непосредственно не участвовал в производстве пищи. Зато пользовавшиеся поддержкой члены коллектива могли заниматься изготовлением орудий или одежды, а также ритуальной деятельностью.

Несмотря на взаимопомощь, жизнь была полна тягот, и лишь около 5% людей доживало до возраста старше 40 лет. Из-за сравнительно малой продолжительности жизни в группах преобладали дети: по крайней мере 40% населения составляли лица моложе 12 лет (в США эта цифра в настоящее время близка к 27%). Малая длительность жизни означала также, что младшие дети часто становились сиротами, не достигнув зрелости, и забота о них после смерти родителей падала на плечи других членов группы.

"Огненная революция"

По мере совершенствования орудий человек смог проникать в области с менее благоприятным климатом и более эффективно использовать окружающую среду. Однако орудия сами по себе не сделали его экологически значимым: человек продолжал оставаться всего лишь еще одним хищником среди многих. Он приобрел такое значение, когда начал использовать огонь для выжигания растительности. Это можно считать первой экологической революцией, сравнимой по своим последствиям с более поздними революциями — сельскохозяйственной и индустриальной. Хотя огонь был известен уже в течение длительного времени, последствия "огненной революции" достигли своего максимума лишь в эпоху позднего палеолита.

То, что землю выжигали, начиная по меньшей мере с древнейших исторических времен, прямо подтверждается многочисленными свидетельствами. Так, около 480 г. до н. э. карфагенский флотоводец Ганнон предпринял морскую экспедицию вдоль западных

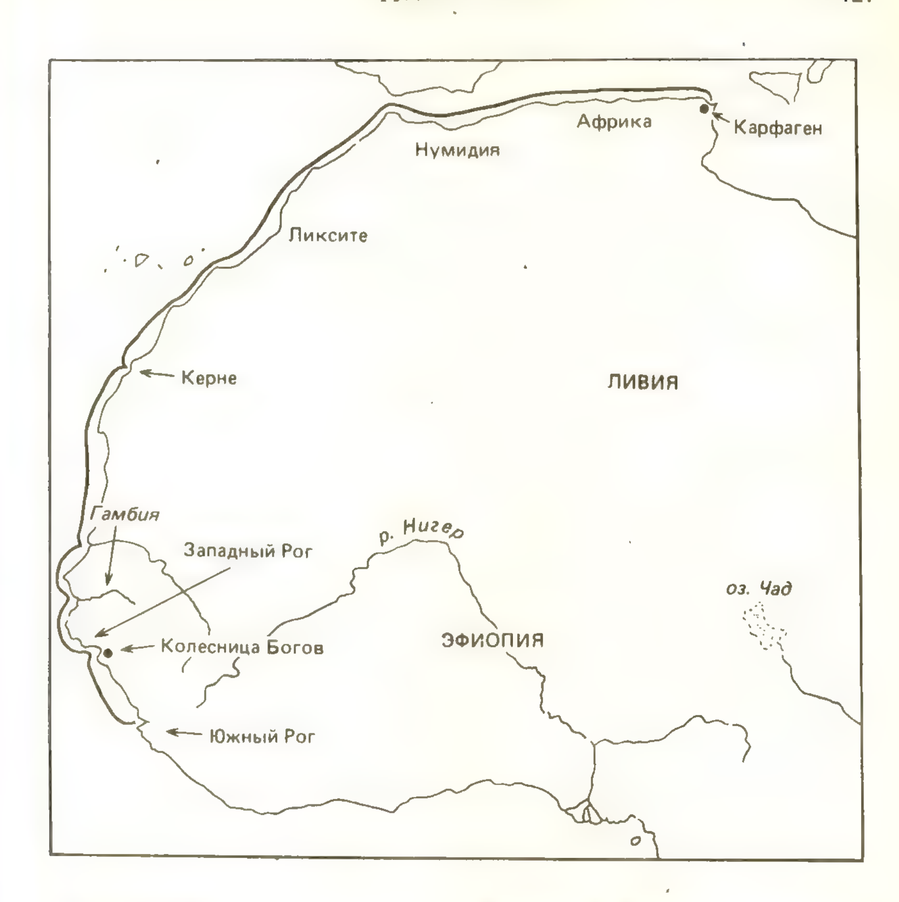


Рис. 29-6. Карта вероятного пути плавания, совершенного карфагенским флотоводцем Ганноном около 480 г. до н. э. Современные названия напечатаны курсивным шрифтом, а те, которые использовались в классический период античности, — прямым. Африкой в то время называли небольшую область около Карфагена. Африка в нынешнем понимании называлась Ливией, а часть этой "Ливии" к югу от Сахары — Эфиопией.

берегов Африки, главной целью которой было создание карфагенских торговых колоний на мавританском побережье (рис. 29-6). По возвращении Ганнон рассказал о своем путешествии на мемориальной доске в карфагенском храме. Греческий перевод его описания, несомненно, несколько искаженный, дошел до нас под названием

"Перипл Ганнона"[1]. Изложив историю заселения Керне (остров Херне[2] в устье Рио-де-Оро), Ганнон так описывает свои дальнейшие приключения:

"Оттуда мы направились к югу и плыли двенадцать дней вдоль берега, заселенного эфиопами, которые разбегались при виде нас и не хотели остановиться. А речь их была непонятна бывшим с нами ликзитам [берберийский народ].

"Но в последний день мы подошли к большим лесистым горам. Деревья здесь были различных сортов, а стволы их источали нежный аромат.

"Мы плыли вокруг этих гор два дня, потом подошли к огромному морскому проливу [устье реки Гамбия], по обе стороны которого простирались плоские земли, идущие в глубь материка. По ночам было видно, как с обеих сторон вспыхивали огни, с интервалами, которые делались то больше, то меньше.

" Набрав там воды, мы пошли вдоль берега и плыли так пять дней, пока не достигли большого залива, который наши переводчики называли Западным Рогом. В нем находился крупный остров, а на нем — озеро с морской водой, и еще один остров [нынешние острова Бисагуш]. Высадившись там в дневное время, мы ничего не увидели, кроме лесов, но ночью горело много огней и были слышны звуки труб и цимбал, гул барабанов и громкие крики. Страх овладел нами, и прорицатели приказали нам покинуть остров.

"Потом, быстро двигаясь вперед, мы миновали горящие земли, полные душистого аромата и исторгавшие в море потоки огня. Но к берегу нельзя было подойти из-за жары.

"И так мы шли на всем ходу, охваченные страхом. После четырехдневного путешествия мы увидели землю, ночью горевшую пламенем. В середине ее был один могучий костер, больше остальных, который, казалось, доходил до самых звезд. При свете дня он оказался очень высокой горой, называемой Колесницей Богов [вероятно, гора Какулима].

"Отсюда мы плыли три дня вдоль огненных лесов и достигли залива, который называют Южным Рогом [Шерборо-Саунд, Съерра-Леоне].

---

[1]Перипл — лоция морехода; в ней описаны береговая линия, гавани и пр. Рассказ Ганнона не был древнейшим описанием африканского побережья. Как сообщает Геродот, финикийцы, состоявшие на службе у фараона Нехо (609–594 гг. до н. э.), ходили вокруг Африки на 120 лет раньше. Описание их путешествия не сохранилось, но Ганнон, сам финикиец, мог почерпнуть из него ценные сведения.

[2]Расположение мест, упоминаемых Ганноном, не вполне достоверно; здесь приводится наиболее правдоподобное истолкование географических названий.

"В глубине этого залива расположен остров, на котором, как и на предыдущем, имеется озеро и в нем еще один остров, полный диких мужчин. Были там и женщины, и едва ли не в большем количестве. У них были волосатые тела, и переводчики называли их "гориллами"[1]. Мы погнались за ними, но не смогли схватить ни одного из мужчин, так как все они убежали, взбираясь на крутые откосы и защищаясь камнями. Зато мы схватили трех женщин, которые кусали и царапали тех, кто их вел, и не хотели за нами идти. Тогда мы убили их, сняли шкуры и привезли в Карфаген. Мы не поплыли дальше, так как припасы у нас подошли к концу."

Общий смысл выжигания земли состоит в том, чтобы избавиться от лесов и получить луга и пастбища. Леса требуют некоторого минимального количества осадков. Там, где оно меньше, естественной формой растительного покрова становятся луга. Охотники хорошо знают, что в лугах и степях (саваннах) водится больше дичи, на которую легче охотиться, чем в густом лесу. Поэтому охотничьи племена обычно практиковали выжигание лесов; в результате луга распространялись и на те территории, где выпадало больше дождей. Огонь использовался также при загоне дичи, при этом изменение окружающей среды оказывалось дополнительным, побочным выигрышем. Хотя на смену охоте позднее пришло скотоводство, практика выжигания лугов для поддержания их в надлежащем состоянии продолжается и по сей день, а тщательно контролируемое выжигание лесов с целью стимулировать рост одних пород деревьев и подавлять другие — один из известных приемов в современном лесоводстве.

Большая часть лугов и открытых пространств Африки — результат выжигания, так как в случае прекращения этой практики страна быстро зарастает лесом. Хотя официально власти не одобряют применение огня, администрация африканских охотничьих парков прекрасно осознает, что огонь необходим для сохранения травоядных и львов, составляющих главную достопримечательность этих парков. Северная Америка тоже интенсивно выжигалась. Европейцы, осуществлявшие ее колонизацию, считали

---

[1] Это первое известное упоминание о "гориллах". Когда в 1847 году европейцы познакомились с крупными человекообразными обезьянами, они назвали их "гориллами", так как сочли, что это и есть "волосатые люди" Ганнона. Кого в действительности видел Ганнон, не вполне ясно: способность бросать камни наводит на мысль, что это могли быть шимпанзе.

Корень "го" означает "человек" на языках Западной Африки (с которыми язык банту находится в довольно отдаленном родстве), что, видимо, указывает на присутствие этой лингвистической семьи в Западной Африке по крайней мере со времен Ганнона.

найденный ими там растительный покров "естественным"; однако изучение годичных колец в стволах деревьев дает основание полагать, что по меньшей мере на протяжении двух тысячелетий, а вероятно, и задолго до того коренные обитатели континента очень активно занимались выжиганием лесов, изменяя таким образом растительный покров. Следы этой практики можно все еще обнаружить в названиях мест: на востоке островки лугов, поддерживаемых с помощью огня, называются "безлесными равнинами" (plains), отсюда "Уайт-Плейнз" и "Хемпстед-Плейнз" в штате Нью-Йорк. В районах с высоким уровнем осадков большая часть лесов, хотя и подвергавшихся выжиганию и измененных по составу, все-таки сохранилась, но влажные прерии, например в Иллинойсе, для своего существования нуждались в огне и быстро зарастали лесом (если их не распахивали), когда белые переселенцы прекращали выжигание. Большая часть современных травянистых формаций в Индии, Южной Америке, на Филиппинах и в других местах тоже связана с использованием огня человеком, а австралийские аборигены регулярно и систематически выжигают свою землю с незапамятных времен. Таким образом, большая часть растительности, которую мы считаем "естественной", давно уже видоизменена человеком.

Эти данные относятся, конечно, к нескольким последним тысячелетиям, но есть косвенные свидетельства в пользу того, что выжигание земли практиковалось и намного раньше. Даже если в эпоху палеолита оно и не было намеренным, простое присутствие человека с его многочисленными стоянками и кострами должно было хотя бы по случайности приводить к пожарам и выжиганию земли.

Широким использованием огня можно объяснить массовое уничтожение крупных (но, как правило, не мелких) млекопитающих, происходившее в палеолите. Самый ранний пример такого рода — уничтожение крупных млекопитающих в зоне к югу от Сахары около 60 тысяч лет назад, когда на протяжении 20 тысяч лет около 40% их исчезли с лица земли. Сходные, но более поздние случаи вымирания имели место в Европе и в обеих Америках вскоре после появления там человека, скажем, около 11 тысяч лет до н. э. Внезапное массовое вымирание животных, как считают палеонтологи, было бы невозможным, если бы человек не дополнил свою охотничью практику использованием огня как с целью загона дичи, так и для изменения ландшафта. Копьями можно убить всего лишь несколько животных, но охваченные пламенем леса или прерии могут уничтожить целые популяции.

Таким образом, первая экологическая революция, произведен-

ная человеком в основном с помощью огня, положила конец "эпохе млекопитающих", в том смысле, что после нее уцелели лишь остатки крупных наземных представителей этого класса.

Оглядываясь на общий ход нашей культурной эволюции, можно подчеркнуть два основных момента.

Первый заключается в большей древности типично человеческих нововведений. Использование предметов в качестве орудий, возможно, начинается с рамапитека, скажем, 14 млн. лет назад, т. е. задолго до возникновения самого человека. Так или иначе изготовление каменных орудий насчитывает по меньшей мере 2,3 млн. лет. Огонь используется человеком уже более миллиона лет, ритуальные и религиозные представления того или иного рода существуют не менее 40 тысяч лет, а изобразительное искусство появляется 27 тыс. лет назад.

Второй важный пункт касается ускорения темпов культурного развития человека. Вначале оно шло настолько медленно, что человек, живший в то время, не мог заметить изменений на протяжении своей жизни. Олдувайская культура существовала более миллиона лет, ашельская — полмиллиона лет, мустьерская в среднем палеолите — 70 тысяч лет, а поздний палеолит — всего лишь 20 тысяч лет. Ускорение развития продолжалось и в исторические времена, а ныне достигло такой стадии, когда человек может стать свидетелем коренных изменений в технологии, социальной организации или мировоззрении за время своего личного существования. Очевидно, что подобное ускорение не может продолжаться долго. В противном случае наша жизнь начнет каждодневно меняться, делая невозможными прогнозы и преемственность.

Литература

Schoff W. H. (Translator). The Periplus of Hanno, The Commercial Museum, Philadelphia, 1913.

Lumley H. de. Scientific American, May 1969 (Terra Amata).

Sherratt A., Clark G. (eds.) The Cambridge Encyclopedia of Archaeology, Cambridge University Press, 1980.

Глава 30

Вера и красота

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. В верхнем палеолите появляется человек полностью современного типа. Возможно, своим происхождением он связан с определенным местом в Африке, из которого он распространялся, вытесняя другие, слегка отличавшиеся формы человека. Он достигает Австралии незадолго до рубежа в 40 тысяч лет назад, если не раньше. Его технологические приемы становятся все более совершенными, но особого внимания заслуживают религиозные верования и зачатки искусства, которые указывают на ментальность, подобную нашей.

Неандертальский человек среднего палеолита уже хоронил своих мертвых, по крайней мере некоторых, вместе с определенными предметами, что предполагает какую-то веру в существование после смерти. В верхнем палеолите возникают ритуалы жертвоприношения. Экстраполируя в прошлое верования австралийских аборигенов и других народов, находящихся или еще недавно находившихся в технологическом отношении на уровне верхнего палеолита, можно предположить, что верхне- и среднепалеолитическому человеку были свойственны смутные, но весьма весомые для него представления о потенциально вредоносных, но безличных "сверхъестественных" силах.

Истинное искусство в виде живописных и иногда скульптурных изображений очень высокого технического уровня также возникает в верхнем палеолите, особенно в Европе и Южной Америке. Искусство не имеет практической точки приложения, и среди млекопитающих вряд ли можно обнаружить зачатки эстетического чувства. Однако в этом отношении человек, возможно, не совсем уникален. Самцы австралийских беседковых птиц, или шалашников, создают и украшают сложные "беседки" и "лужайки" для привлечения самок. Такой обычай выработался в результате полового отбора, но это вовсе не исключает субъективной эстетической оценки сооружаемого.

Верхний палеолит

Средний палеолит, период "архаического" и неандертальского типов человека, заканчивается около 40–30 тысяч лет назад. С этого

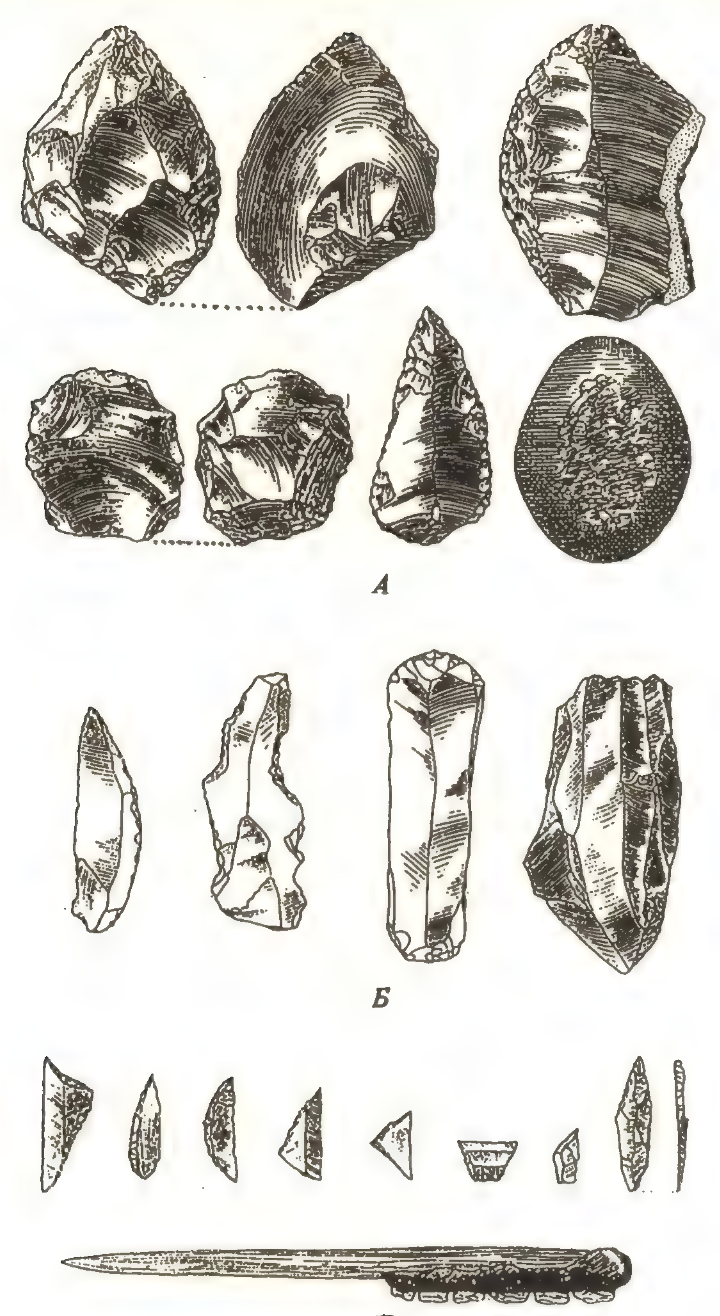
времени мы имеем дело только с человеком вполне современного типа, анатомически не отличающимся от нас самих. И вновь занимаемая им территория сильно увеличилась (рис. 29-4). Около 50 000 лет назад человек заселяет Австралию, около 40 000 — Сибирь, около 13 000 — Северную и Южную Америку. Так как Австралия никогда, даже во времена самого низкого уровня мирового океана, не была соединена сушей с Азией, у людей, по крайней мере у тех, что жили на юго-востоке Азии, должны были существовать суда, достаточно прочные для такой переправы. Был изобретен гарпун, многие орудия изготовлялись из "микролитов". Это миниатюрные острые каменные отщепы, которые вкладывали в дерево или кость для получения "составных орудий", аналогичных ножам или пилам (рис. 30-1). Превосходные иглы, сделанные из кости, свидетельствовали не просто о наличии одежды, но и о том, что ее шили. Это имело большое значение в условиях холодного климата.

Среднепалеолитический человек использовал лишь то, что находилось поблизости, но в верхнем палеолите возникает торговля или, по крайней мере, перенос предметов на значительные расстояния. Лучшие сорта кремня "путешествуют" на 100 км и более, а декоративные материалы, такие, как янтарь или морские ракушки, — и того дальше.

"Ноев ковчег"

Большие успехи в области технологии, наряду с постижением "высших" жизненных ценностей, таких как искусство, более или менее совпадают с появлением человека современного типа. По мнению некоторых, это означает, что современная форма *Homo sapiens* обладает какими-то биологическими особенностями, которых не было у более ранних видов того же рода. Поэтому вопрос, особенно интересующий палеоантропологов, состоит в уточнении происхождения современного человека, в "определении самих себя". Но этот счет существуют две точки зрения.

Ископаемые останки человека примерно одинаковой древности повсеместно относятся к одной и той же ступени эволюции, и начиная с 200–300 тысяч лет до настоящего времени в Африке, Европе, Китае, Ост-Индии мы находим черепа, отклоняющиеся от *Homo erectus* в направлении современного человека, хотя степень отклонения по тому или иному признаку различна. Продолжая эту тенденцию, архаический *Homo sapiens* вскоре повсеместно становится "человеком современного типа", эволюционируя, так сказать, широким фронтом. Это "гипотеза канделябра".


А
Б
В

Другая точка зрения состоит в том, что развитие человека современного вида происходит только в одном месте, под которым обычно подразумевается Африка. Затем он вторгается в Китай, Индию, Европу и т. д., уничтожая "менее прогрессивных" аборигенов. Так появились и мы, счастливчики. Поскольку, согласно этой гипотезе, Земля была вновь заселена немногими прародителями, выходцами из одного места, по аналогии с историей о всемирном потопе это можно было бы назвать "гипотезой Ноева ковчега". Обе точки зрения имеют глубоко убежденных сторонников, но на основании современных данных трудно решить, какая из них вернее.

"Высшие ценности жизни"

Хотя технологические достижения, безусловно, важны, современного человека отличают и выделяют в первую очередь его духовные приобретения, такие как религия и искусство. Слабые зачатки их можно обнаружить уже в среднем палеолите, но только с появлением человека современного типа в верхнем палеолите они получают значительное развитие.

"Религия"

Мирча Элиад, известный румынский историк религии, пишет: "Трудно себе представить, как мог бы функционировать человеческий разум, лишенный убеждения, что в мире есть нечто неотвратимо реальное; и невозможно вообразить, как могло возникнуть сознание без стремления придать смысл человеческим побуждениям и поступкам. Осознание реального и значимого мира тесно связано с открытием святыни. Путем духовного опыта человеческий разум воспринимал различия между тем, что проявляет себя как реальное, могучее, богатое и значимое, и тем, что лишено этих качеств, т. е. хаотическим потоком вещей, их случайным и бессмысленным появлением и исчезновением". Согласно этому критерию, человек верхнего палеолита действительно обладал сознанием, но то состояние духа, которое мы сейчас называем религиозным, возникло путем постепенных изменений.

Рис. 30-1. *А*. Мустьерские орудия того типа, какие часто изготовлял неандертальский человек. *Б*. Верхнепалеолитические орудия. *В*. Верхнепалеолитические микролиты. Их использовали для изготовления сложных орудий, таких, как изображенный внизу нож современных австралийских аборигенов.

В конце среднего палеолита неандертальцы начинают хоронить умерших, по крайней мере некоторых из них. Недалеко от Самарканда в Средней Азии обнаружено захоронение ребенка, окруженное рогами горного козла; в Палестине подобный рог лежал в руках умершего. Орудия или другие предметы, найденные в погребении, могут указывать на определенные представления о загробной жизни. У народов, живших в последнее время, семой древней была вера в то, что мертвые могут возвращаться, чтобы причинять вред живым. Поскольку это возвращение было неотделимо от телесного обличья, умерших связывали веревками, чтобы воспрепятствовать их действиям. В других случаях их задабривали положенными в могилу предметами.

Наиболее явный случай ритуального жертвоприношения был обнаружен в 1971 г. во французской пещере Грот-де-Монгодье. Связанные с находкой орудия были мустьерского типа, характерного для неандертальского человека, однако жертвоприношение совершали, вероятно, верхнепалеолитические люди современного типа. Здесь были найдены скелеты молодой свиньи и трех обезглавленных северных оленей, все превосходной анатомической сохранности; следовательно, животные не предназначались для съедения. Каменные орудия были воткнуты вертикально в землю вокруг скелетов в окружении разбросанных кусков охры. Расположенный неподалеку очаг с чистыми зольными остатками, вероятно, служил для ритуальных целей. Не следует думать, однако, что жертвоприношения совершались в честь некоего божества, менее всего — антропоморфного. Скорее это была своеобразная гипнотическая магия, призванная воздействовать “механически” прямо на северных оленей и свиней, чтобы обеспечить их изобилие и облегчить охоту на них.

Проникнуть в тайны верований верхнепалеолитического человека, сколь сомнительной ни представлялась бы подобная задача, нам помогают верования и образ мыслей тех народов, которые живут или недавно еще жили на технологическом уровне верхнего палеолита; таковы, в частности, австралийцы и их ближайшие соседи — папуасы Новой Гвинеи.

У этих народов обычные и ожидаемые события или предметы воспринимаются как естественные и не вызывают сомнений. Но если что-нибудь хоть немного выходит за рамки обыденного, особенно если оно при этом затрагивает эмоции — скажем, имеет отношение к пище, болезни или смерти, тогда для объяснения привлекают невидимую силу, которую можно назвать “сверхъестественной”. Эта сверхъестественная сила образует невидимый мир вокруг нас. В такой системе представлений не существует, по край-

ней мере на первоначальном этапе, духов или богов. Как неоднократно отмечалось, религия возникает задолго до появления богов. Сверхъестественная сила сравнима с числом 13: в отелях нет комнат под таким номером, потому что это плохое предзнаменование. Однако при попытках умолить и умилостивить эту незримую силу ей начинают приписывать некоторые личностные свойства, и тогда складываются другие концепции, которые оставили свой след на более поздних системах верований.

Одна из таких интересных концепций называется Алчеринга — так именуют ее люди племени арунта в центральной Австралии. Алчеринга — это время творения или, лучше сказать, время до начала отсчета времени. Концепция содержит некоторое представление о причинности. События происходят сейчас потому, что имитируют случившееся во время Алчеринга. Так, люди умирают потому, что во время Алчеринга кто-то совершил нечто такое, что повлекло смерть кого-то еще, и с тех пор все должны умирать. Более современные примеры такого же типа рассуждений — шумерский рассказ о Гильгамеше, потерявшем цветок вечной молодости, и христианская доктрина первородного греха: мы все грешники не потому, что грешим, а потому, что наши предки некогда съели плод с Древа познания добра и зла.

Еще одна концепция — "билокальность", или представление о том, что какой-то предмет, а особенно человек, может находиться одновременно в двух разных местах. Так, человек может спать здесь и в то же время быть где-то еще, иногда по-прежнему в человеческом облике, иногда как оборотень — волк, тигр или крокодил. Общепризнанным подтверждением служит то, что если крокодила ранят, допустим, в ногу, то спящий человек просыпается с такой же раной в ноге или же умирает в случае гибели "двойника". Эта концепция "двойника" возникает, вероятно, под влиянием сновидений, когда человек может спать в одном месте и одновременно путешествовать в других, далеких краях. От концепции билокальности остается один короткий шаг до представлений о вечной душе — своеобразном "двойнике" человека.

Поскольку подобное мышление встречается во многих частях мира, разумно предположить, что оно было некогда всеобщим. Экстраполируя с тех времен в будущее, мы увидим, что это была предковая форма религии. Экстраполируя в прошлое, должны будем согласиться, что древнейшая стадия состояла из одного основного представления, а именно мысли о том, что существует своего рода не вполне естественный мир, который проявляет себя, вызывая неожиданные и несущие эмоциональную нагрузку события. Этот мир был в основе совей неперсонифицированным, хотя

четких различий между тем, что есть личность, а что безлично, не существовало. Если наши рассуждения верны, такова была суть "религии" доисторического человека, может быть, уже на стадии неандертальцев.

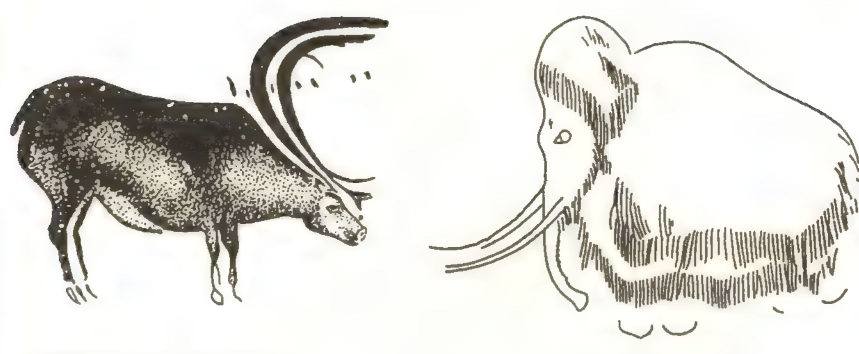
Эстетическое чувство

Человек среднего палеолита не оставил после себя произведений искусства, однако слабые зачатки эстетического чувства у него были. Он собирал куски красной охры и делал из них "карандаши", но что ими красил — неизвестно. Обитатели одной французской пещеры интересовались необычными предметами, так как принесли откуда-то окаменевшую раковину. В других местах собирали кристаллы кварца и редкостные минералы; иногда изготовляли орудия из камней необычной окраски, а на одной венгерской стоянке найдена галька с процарапанными на ней двумя линиями в форме креста. Но в отложениях среднего палеолита все эти предметы редки.

В верхнем палеолите начинается расцвет искусств. Появляются различные украшения, фигурки из обожженной глины, резные изделия из бивней мамонта и костяные изображения животных, реже — человека. Особенно поражают образцы живописи на стенах пещер и скальных убежищ в Южной Африке, в северной Испании и во Франции: самые ранние рисунки в этих местах датируются примерно 27 тысячами лет назад (рис. 30-2). Их техническое совершенство можно до некоторой степени оценить по репродукциям, но нельзя полностью представить себе то впечатление, которое они производят в полутьме пещер. Хотя пещерная живопись, вероятно, и выполняла утилитарную функцию, способствуя неким магическим путем увеличению численности дичи и успехам охотников, кажется более вероятным, что она, подобно искусству наших соборов, преследовала двоякую цель, добиваясь и эстетического эффекта, и некоего магического результата. Несомненно, сама способность создавать такие изображения указывает на чувство красоты.

Аналоги эстетического чувства

Нет никаких свидетельств того, чтобы эстетическое чувство имелось у каких-либо млекопитающих, за исключением человека, да и у него оно появляется не сразу. Искусство не имеет очевидной "утилитарной" ценности, и его нервная основа неизвестна. Однако



Северный олень, Франция

Мамонт, Франция



Контуры рук, Испания



Сражения лучников, Испания (неолит)

Рис. 30-2. Пещерное искусство верхнепалеолитического человека. Внизу справа — сцена сражения неолитических племен; воины пользуются луками, которые стали употребляться лишь в позднем неолите.

существует ряд других примеров, возможно, показывающих, что человек в этом отношении не совсем уникален.

Беседковые птицы, или шалашники

Австралийские и новогвинейские шалашники — близкие родственники ворон, так же как и райские птицы Новой Гвинеи, самцы которых имеют самую роскошную окраску среди всех пернатых (рис. 30-3). Из представителей семейства вороновых сороки извест-



Рис. 30-3. Райские птицы Новой Гвинеи; самец более декоративен, чем самка.

ны своей склонностью собирать цветные и блестящие предметы, например ювелирные изделия, иногда проникая для этого в дома. Может быть, они способны и субъективно оценивать красоту таких вещиц, хотя следует заметить, что у человека тяга к красочным и блестящим предметам не всегда указывает на развитое эстетическое чувство. Клеопатра выпивала растворенные в уксусе жемчужины, являя один из бесчисленных примеров торжества показного потребления над хорошим вкусом.

Самцы райских птиц садятся на ветку и демонстрируют свое оперение, выполняя сложную ритуализованную процедуру, и это привлекает самок. Самцы шалашников не обладают такой роскошной окраской, как райские птицы; поэтому они завлекают самок иным способом. Подобно многим другим птицам, шалашник-самец занимает определенную территорию, которую он "метит" своим голосом, предупреждая других самцов, что им следует держаться поодаль. Необычно у шалашников то, что за несколько месяцев до спаривания самец расчищает участок земли, а затем строит беседку из веток и палочек. В период ухаживания самец приседает и машет крыльями в беседке, а у одного вида — танцует, держа во рту красную ягоду.

Существует 18 видов шалашников, и представители каждого вида строят характерные только для них беседки, одни — попроще, другие — более сложной конструкции (рис. 30-4). Вокруг беседки самец может устроить "лужайку" из мха и украсить ее (или землю) цветами и листьями, которые он заменяет свежими по мере увядания. Различные цветные предметы, например яркие камушки, кусочки стекла, бутылочные горлышки, подобранные возле человеческого жилья, тоже коллекционируются и идут в дело. У трех видов самцы делают своеобразную краску, смешивая мякоть плодов со слюной, а затем, зажав в клюве какой-нибудь волокнистый материал и пользуясь им вместо кисти, красят беседку. Птицы одного вида величиной со скворца могут строить огромные беседки до 9 футов высотой.

Среди шалашников некоторые самцы окрашены весьма тускло, у других имеются и цветные перья. Но чем скучнее окраска, тем обычно сложнее устроена беседка, как если бы одна орнаментика заменяла другую.

Нет никаких сомнений, что и роскошное оперение райских птиц, и беседки шалашников — результат так называемого полового отбора. Их "цель" состоит в том, чтобы довести самку до состояния готовности. Чем ярче самец, тем успешнее он достигает цели; это приводит к отбору самых поразительных окрасок у самцов, которые и становятся родоначальниками последующих поколений. Но



Рис. 30-4. Беседковые птицы и их постройки.

это отнюдь не исключает возможность того, что птицы способны и субъективно оценивать красочность зрелища: само действие полового отбора, вероятно, основано на наличии у самки субъективного впечатления.

Литература

Levy-Bruhl L. Primitive Mythology: The Mythic World of the Australian and Papuan Natives. Translated by Brian Elliot, University of Queensland Press, St. Lucia, London, New York, 1983.

Sherratt A., Clark G. (eds.) The Cambridge Encyclopedia of Archaelogy, Cambridge University Press, 1980.

Глава 31

Звуки речи

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Человек обладает многочисленными биологическими предпосылками для овладения речью и языком. Для членораздельной речи нужны специальные нервные механизмы, которые управляли бы дыханием, позволяя голосу вибрировать с определенной частотой, а также делать фразировку или “пунктуацию” в соответствии со структурой предложения. Кроме того, человек отличается от всех других млекопитающих по строению верхних дыхательных путей, которые приспособлены у него для модулирования звуков речи.

Голосовые связки в гортани производят звук, состоящий из основной частоты и обертонов. В верхних дыхательных путях некоторые частоты поглощаются больше других в зависимости от положения языка, что позволяет произносить различные звуки.

Узнавание слышимых слов — это задача распознавания образов, по существу сходная с той, которую решает зрительная система. Универсальными звуковыми единицами для слуховой системы являются слоги, а не отдельные звуки, эквивалентные буквам фонетического алфавита.

Слуховая система подразделяет все звуки речи на ограниченное число категорий, которые соответствуют ограниченному числу произносимых нами звуков. Эти категории являются врожденными, но в процессе обучения речи сохраняются лишь те из них, которые нужны для распознавания звуков, встречающихся в нашем родном языке.

Человеческая культура существует благодаря языку. Когда ребенок учится говорить, это ему удается только благодаря тому, что мы обладаем многими особенностями анатомического и нервного характера, которых нет у других животных и которые позволяют нам пользоваться языком. Поэтому лингвистика включает и биологический аспект. Его удобно подразделить на две группы вопросов: во-первых, как произносятся и слышатся звуки и, во-

вторых, как они передают смысловую информацию. Начнем со звуков речи.

Звуки речи произносятся на выдохе. Поток воздуха проходит через гортань, заставляя находящиеся внутри ее голосовые связки вибрировать. Эта вибрация производит звук, обладающий основной частотой и обертонами, частоты которых кратны частоте основного тона. В верхних дыхательных путях, к которым относятся полости рта и носа, звук, производимый гортанью, модифицируется под влиянием различных конфигураций языка и губ, что и приводит к произнесению разнообразных речевых звуков.

Чтобы эти звуки можно было услышать, они преобразуются в ухе в нервные импульсы, которые, однако, приобретают смысл лишь после весьма сложной обработки.

Контроль над дыханием

Мы делаем вдох и выдох потому, что дыхательный центр, расположенный в продолговатом мозгу — самой нижней части головного мозга, периодически посылает нервные импульсы сначала к мышцам, расширяющим грудную полость, а потом к мышцам, уменьшающим ее объем. Обычно это происходит автоматически, и мы вообще не осознаём, что дышим. Но у человека на это накладываются два важных механизма, которые контролируют дыхание в интересах речи.

1. При обычном дыхании давление в легких в начале выдоха несколько повышено, а затем постепенно снижается, в конце становясь равным атмосферному. Но для того чтобы можно было контролировать быстро меняющиеся звуки речи, внутрилегочное давление должно оставаться постоянным. Поэтому, когда мы говорим и начинаем выдыхать, мышцы, осуществляющие обычно вдох, выступают в роли тормозов, замедляя выдох и снижая давление в легких. Затем, когда давление понижается, мышцы, производящие выдох, начинают действовать более энергично, поднимая давление. Таким образом, давление остается более или менее постоянным на протяжении всего выдоха и резко падает только в его конце.

2. Другой механизм регулирует продолжительность выдоха так, чтобы она соответствовала длине фразы или предложения. Это очень важно: благодаря такому механизму достигается единство фразы и осуществляется голосовая “пунктуация”. Если бы во время разговора нам приходилось останавливаться, чтобы набрать воздуха, в случайных местах внутри предложения, смысл

его становился бы непонятным. Это можно проиллюстрировать на письме путем перестановки знаков препинания: "Когда гиена движется. По открытой местности своей обычной; довольно медленной походкой без, явной демонстрации своих охотничьих целей реакции. Гну достаточно очевидны". Если *не обращать внимания* на заглавные буквы и знаки препинания, предложение можно легко понять, но *только* при этом условии. Если составить цепочку из подобных предложений, то понять их будет еще труднее. Дело в том, что мы как бы создаем "анти-синтаксис", и в результате становится совершенно непонятно, что с чем связано. Чтобы избежать таких затруднений, говорящий начинает с того, что быстро набирает в легкие воздух, а потом медленно его выдыхает, пока не дойдет до конца фразы, после чего делает еще один быстрый вдох.

Интересно отметить, что при этом глубина вдоха не остается постоянной; говорящий приспосабливает вдох к длине фразы, которую он собирается произнести (рис. 31-1, *А*). Такого рода приспособление, связанное не с тем, что произошло, а с тем, что должно произойти, требует посылки дыхательному центру сигналов от весьма высоких уровней мозга.

Музыка, подобно речи, имеет фразировку, так что во время пения или игры на духовом инструменте дыхание должно регулироваться очень сходным образом. Делается быстрый вдох, а затем контролируемый продолжительный выдох, соответствующий музыкальной фразе. Но такой контроль над дыханием требует здесь упорного совершенствования. На рис. 31-1, *Б* показаны дыхательные движения хорошего певца и плохого певца при исполнении одной и той же песни. У опытного певца дыхание правильное и хорошо контролируемое, чего нельзя сказать о плохом.

Дыхание, глотание и речь

Всем млекопитающим необходим свободный доступ воздуха в легкие, и в то же время животное должно быть способно проглатывать пищу так, чтобы она не попадала в дыхательные пути. Это особенно важно для детенышей млекопитающих, которым приходится одновременно сосать и дышать. Разделение воздуха и пищи достигается с помощью так называемого "стандартного плана строения", свойственного всем наземным млекопитающим, за исключением взрослого человека.

Ротовая полость продолжается в глубину двумя трубками (рис. 31-2, *А*), Одна из них — пищевод — ведет в пищеварительный тракт, а другая — трахея — к легким. Носовая полость, лежащая

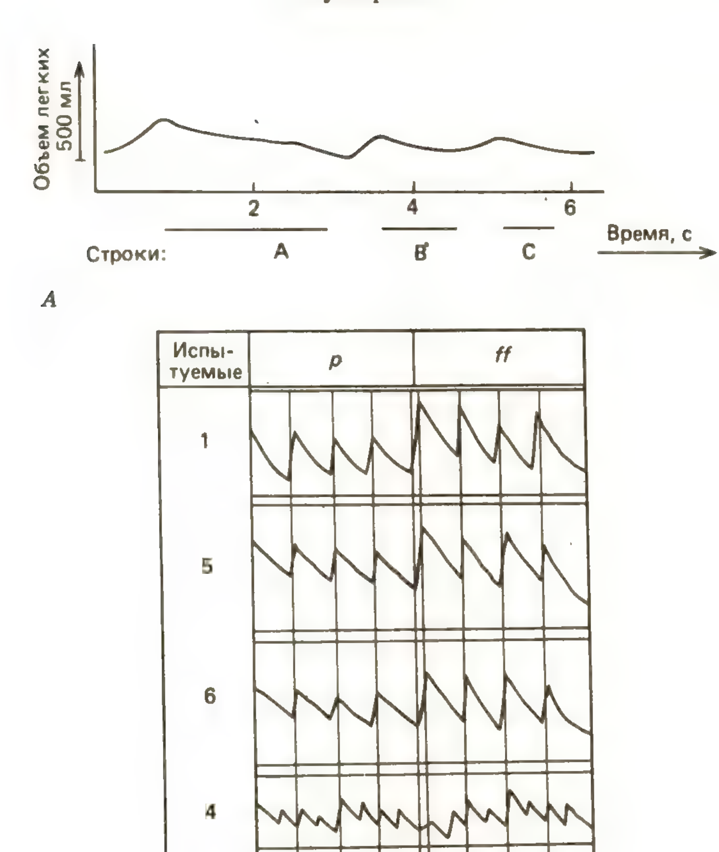


Рис. 31-1. Объем легких меняется во время речи и пения; подъем кривой означает вдох, снижение — выдох. *А*. Испытуемый читает вслух три поэтические строки. *Б*. Испытуемые поют одну и ту же песню. Испытуемые 1, 5 и 6 умелые певцы: они делают быстрый вдох и равномерный выдох, совпадающий с фразировкой песни. Этого нельзя сказать об испытуемых 4 и 8; они плохие певцы.

над ротовой, открывается назад в носоглотку. При дыхании гортань поднимается и "вдвигается" в носоглотку; от ротовой полости ее полностью отделяют мягкое нёбо и надгортанник. Таким образом, от носовой полости до органов дыхания тянется непрерывная трубка, в которую не может попасть пища. При глотании твердая или жидкая пища огибает дыхательную трубку и поступает в пищевод, ведущий к желудку.

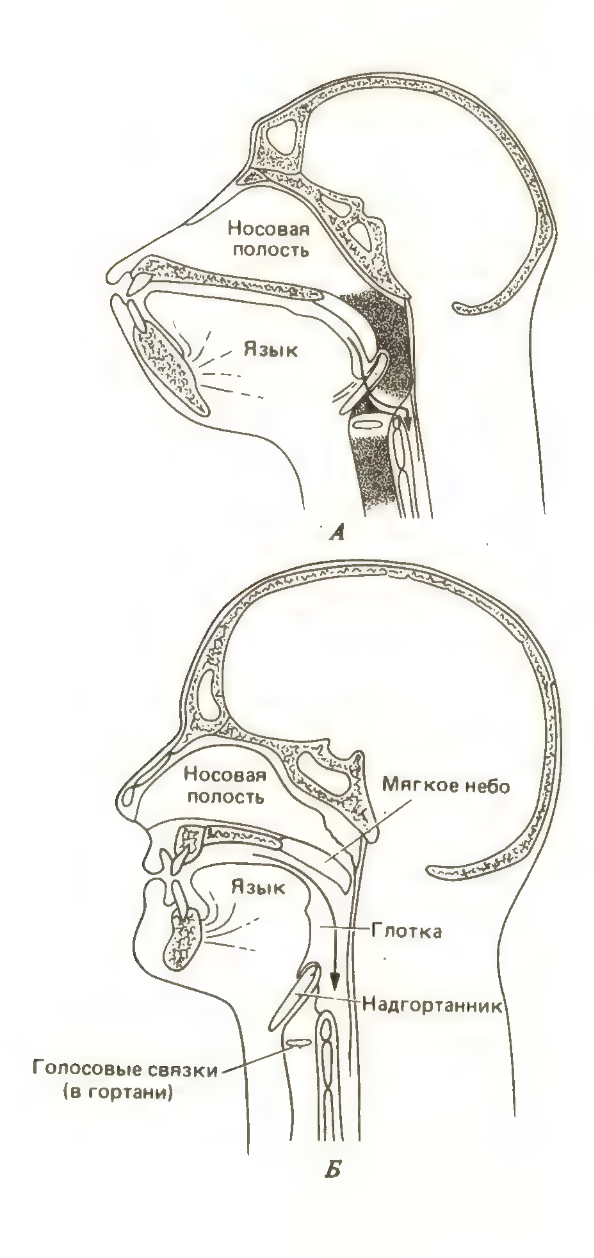
У человеческого младенца дыхательные пути построены по тому же стандартному плану, что и у других млекопитающих: гортань расположена высоко и может плотно входить в носоглотку. Кроме того, имеются нервные механизмы, обеспечивающие дыхание только через нос. Если носовые проходы заложены, ребенок испытывает сильнейший дискомфорт; он будет дышать через рот, если вообще будет, только на грани удушья. Некоторые дети действительно могут задохнуться, зато остальные пользуются тем преимуществом, что способны без всякой опасности дышать и сосать одновременно.

Однако подобное приспособление не позволяет произносить разнообразные звуки. Во время речи звуки, производимые гортанью, должны модулироваться в ротовой полости, форма которой меняется в зависимости от положения языка, так что требуется значительная свобода движений этого органа.

У животных с прогнатными, т. е. выступающими челюстями язык длинный и узкий и целиком лежит в ротовой полости; находясь здесь, он не препятствует "вдвиганию" гортани в носоглотку. Но у человека челюсти больше не выступают вперед. Это приводит к тому, что задняя часть языка оттесняется в глотку, а так как гортань прилегает к задней стороне языка, она отодвигается вниз. Положение языка теперь хорошо приспособлено для изме-

---

Рис. 31-2. Глотание и дыхание. *А.* У шимпанзе мы находим устройство, характерное для млекопитающих. Гортань, расположенная высоко вместе с надгортанником, может подниматься и плотно входить в носовую полость, образуя непрерывную трубку (показана черным). Пища и питье не могут попасть в дыхательные пути, но могут проходить в пищевод, минуя эту трубку. У младенцев этот механизм позволяет дышать и сосать одновременно, не рискуя задохнуться. Но язык, помещающийся в ротовой полости, не имеет достаточного пространства для движения и артикуляции звуков речи. *Б.* У взрослого *Homo sapiens* гортань расположена низко и не стесняет движений языка, но зато она не может входить в носовую полость, и пища с питьем проходят мимо входа в гортань, который закрывается во время глотания кольцевыми мышцами.


Носовая полость
Язык
А
Носовая полость
Мягкое небо
Язык
Глотка
Надгортанник
Голосовые связки (в гортани)
Б

нения формы полости верхних дыхательных путей и тем самым для модулирования звуков, производимых гортанью. Но поскольку гортань теперь расположена очень низко, она не вдвигается в носоглотку и пища может попадать в нижние дыхательные пути (рис. 31-2, *Б*).

У взрослого человека попаданию пищи в дыхательные пути препятствует активное и скоординированное движение: при глотании вход в гортань блокируется сокращением кольцевой мускулатуры гортани. Это защитное движение достигает цели, если производится в нужный момент, если же нет — человек может задохнуться. В 1985 г. в США были зарегистрированы 1663 случая смерти от удушья при глотании пищи, а в 1888 случаях смерть наступила при попадании других предметов в дыхательные пути. Такова цена, которую мы платим за возросшие способности к произнесению звуков речи.

Переход от "стандартного плана" к тому, что мы наблюдаем у взрослых, совершается рано. Первоначально гортань расположена высоко, как у других млекопитающих, но потом еще до рождения она начинает опускаться; это продолжается и после рождения, так что примерно к трем месяцам ребенок уже способен дышать через рот.

Генерирование звука в гортани

У большинства млекопитающих первичным звукопроизводящим органом служит гортань — хрящевой начальный отдел трахеи (дыхательного горла), через которую воздух входит в легкие и выходит из них (рис. 31-3, *Б*). В гортани имеются две полоски ткани — голосовые связки, вибрация которых производит звук, когда они сближаются. Пространство между ними называется голосовой щелью.

Голосовые связки приводятся в движение не мышцами. Они напоминают язычки духовых инструментов, например кларнета, которые вибрируют при прохождении около них воздуха. Но частота вибраций может контролироваться мышцами, которые изменяют натяжение связок.

"Музыкальные" звуки и "шум"

Существует два типа звуков. Одни звуки можно разложить на ряд чистых тонов, и поэтому форма волны у них периодически повторяется. Мы называем такие звуки "музыкальными". У дру-

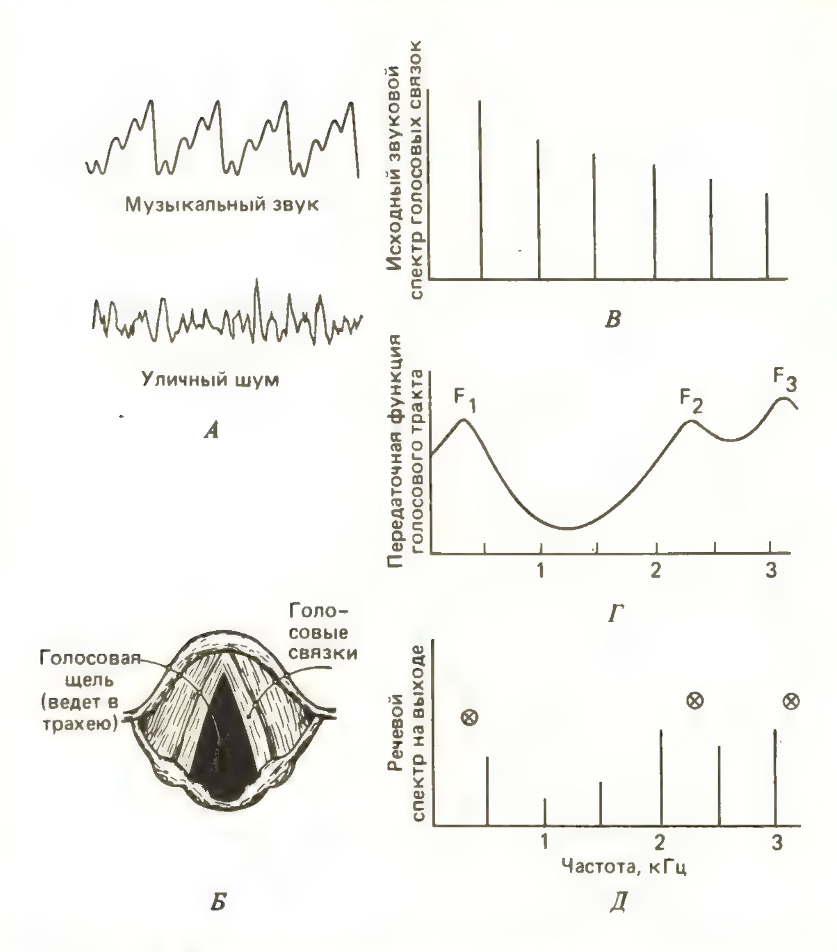


Рис. 31-3. *А*. Периодические звуки, к которым относятся и гласные, можно петь, и их называют музыкальными. Неупорядоченные звуки образуют "шум"; таковы согласные. *Б*. Гортань и голосовые связки человека (вид сверху). *В*. Звук, производимый гортанью, состоит из основной частоты F_0 и ее обертонов понижающейся интенсивности F_1, F_2 и т. д. *Г*. В ротовой полости разные частоты поглощаются в разной степени, что зависит от конфигурации полости. Этот "фильтрующий" эффект описывается передаточной функцией. *Д*. Акустический спектр после фильтрации. Пики соответствуют формантам гласной, в данному случае [i]. Отмечены три максимума передаточной функции.

гих звуков форма волны нерегулярная, и их называют “шумом” (рис. 31-3, *А*).

“Музыкальные” звуки, которые можно петь, производятся гортанью и в составе языка называются гласными. Менее регулярные колебания образуют согласные звуки, такие, как [с], [д] и др. Они производятся путем манипулирования воздушным потоком с помощью языка и губ. Если гортань не участвует в их произношении, как в случае с [т], согласный называют “глухим”, если участвует, как в случае с [д] — “звонким”. В отличие от гласных согласные нельзя петь. Здесь мы рассматриваем в основном гласные.

Модуляция звуков, производимых гортанью

Самая низкая частота F_0, производимая в данный момент гортанью, называется “основной” и имеет наибольшую амплитуду, т. е. дает самый громкий звук. У взрослых он соответствует частоте 50–100 Гц (герц, или вибраций в секунду). Гортань производит также обертоны, частоты которых кратны частоте основного тона; например, при F_0 100 Гц F_1 составит 200 Гц, F_2 — 300 Гц и т. д. (рис. 31-3, *В*). В ряду обертонов их амплитуда уменьшается. Обертоны возникают потому, что воздушный столб может вибрировать не только как целое, но и как независимые сегменты, а также как части внутри этих сегментов.

Таким образом, гортань служит источником акустической энергии, но звук, производимый гортанью, — это всегда основной тон с его обертонами. Для превращения в звук речи он должен модифицироваться в расположенных выше полостях носа и рта. Именно эта модификация делает один звук отличным от другого.

Как происходят такого рода модификации, впервые показал в 1780 г. К. К. Кратценштейн. Он поместил трубки различной длины и формы над язычками механической гортани и продемонстрировал, что с помощью подходящих полостей можно воспроизвести все гласные русского языка. В наши дни механические язычки и трубки можно заменить электронными устройствами, так называемыми синтезаторами речи. Эти электронные приборы намного более универсальны и легки в управлении, чем механические, и они позволили получить ряд замечательных результатов.

Форманты

Когда звук, издаваемый гортанью, проходит через полости носа и рта, эти последние действуют как фильтры — поглощают одни частоты больше других. Какие частоты будут поглощаться больше, а какие меньше, зависит от размеров и формы полостей в каждый

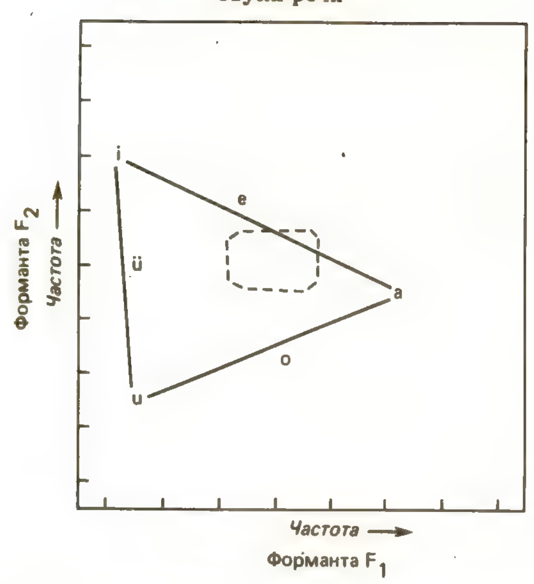


Рис. 31-4. Схематическое изображение пространства гласных. Гласный звук характеризуется главным образом частотами первых двух формант, F_1 и F_2. Три основных гласных: [i] — F_1 низкая, F_2 высокая; [u] — обе форманты низкие; [a] — обе промежуточные. В некоторых языках имеются гласные только этих трех типов, но в большинстве языков есть другие, такие, как [e], [o], [ü]. Их частоты относительны: они зависят от основных частотных характеристик речи, которые различны у мужчин, женщин и детей. Пунктиром очерчено пространство гласных у низших и человекообразных обезьян. Оно гораздо уже, чем у человека, так как в глотке у них мало места для перемещения языка. Но это не обязательно означает, что они не способны распознать тонкие различия в пределах этой более ограниченной области.

данный момент. Это фильтрующее действие можно описать с помощью передаточной функции, которая показывает, какая часть акустической энергии, идущей от голосовых связок, поглощается при различных частотах (рис. 31-3, *Г*). Умножая амплитуды (громкости) частот, производимых гортанью, на соответствующие значения передаточной функции, можно получить спектр звуков, которые мы в действительности слышим (рис. 31-3, *Д*). Этот спектр теперь имеет пики, называемые формантами, при частотах F_1, F_2, F_3, и звуки речи, которые мы слышим, зависят от положения этих пиков.

На практике для распознавания гласных наиболее важны пер-

вые две форманты; поэтому, отложив на осях координат частоты первых двух формант, можно представить гласные в двумерном "пространстве гласных", как это показано на рис. 31-4. Гласные в разных языках различны, но пространство гласных, хотя оно и не совсем одинаково, подразделяется сходным образом. Поскольку гласным на графике соответствуют не точки, а области, в каждом данном языке может быть лишь ограниченный набор хорошо различаемых гласных.

Распознавание звуков речи

Мы слышим потому, что вибрации воздуха воздействуют на ухо. Эти вибрации сначала достигают барабанной перепонки, потом три маленькие косточки передают их спиральному образованию — "улитке", в которой находится *кортиев орган*. Здесь они преобразуются в нервные импульсы. Кортиев орган несколько напоминает арфу; он представляет собой систему волосковых клеток — "струн", избирательно реагирующих на различные частоты (рис. 31-5).

Как глаз анализирует свет, разделяя его на различные цвета, так и кортиев орган разлагает звук на составляющие его частоты. Но для понимания того, как мы слышим, это объяснение дает не больше, чем утверждение, что глаз подобен камере, проецирующей изображение на сетчатку. Изображение не имеет смысла, покуда сигналы, идущие от сетчатки, не будут проанализированы и преобразованы в специальный код, выражающий соотношения между ними. Это относится и к сигналам, посылаемым кортиевым органом; требуется очень основательная переработка нервных импульсов, прежде чем они станут значимыми. Сходство переработки слуховых и зрительных сигналов не случайно. После того как внешний сигнал преобразовался в нервные импульсы, его первичная модальность теряет свое значение. Независимо от того, было ли источником сигналов зрение, слух, обоняние или осязание, переработка их может осуществляться сходным образом. Благодаря этому различные модальности имеют между собой много общего.

Вычисление формантных частот

Гласная слышится как [и], [а], [у] и т. д., когда ее формантные частоты F_1 и F_2 находятся в соответствующих пределах, так что первая проблема состоит в определении положения формант. Но поскольку основная частота голоса у разных людей различна, для

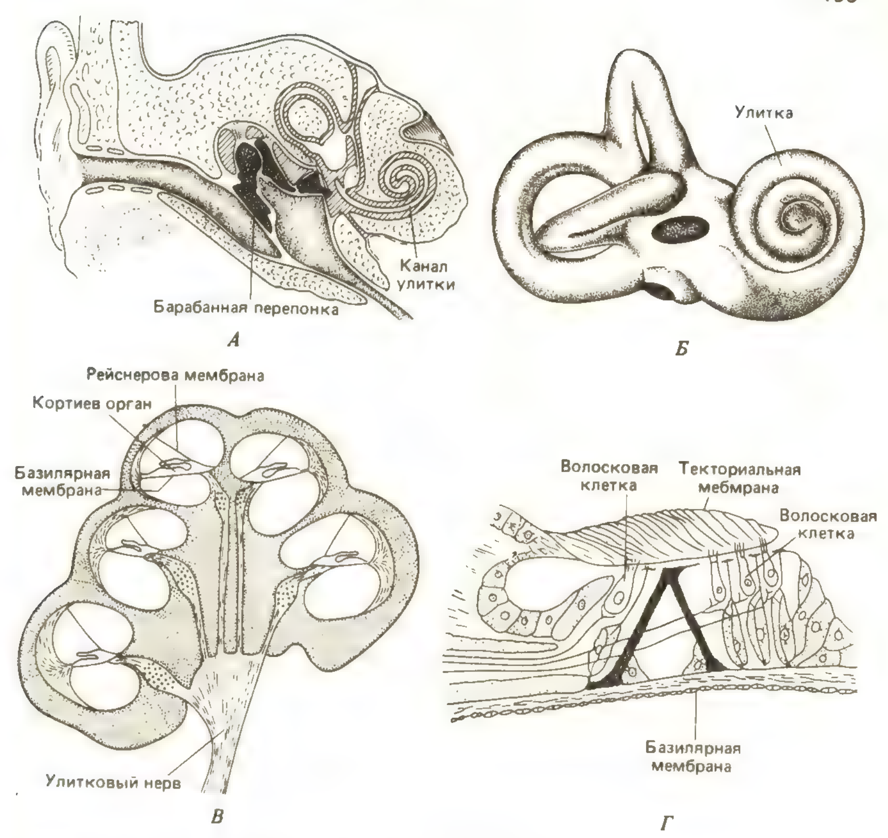


Рис. 31-5. Ухо человека. *А.* Звук достигает сначала барабанной перепонки, потом передается через три небольшие косточки (выделены черным цветом) и поступает в канал улитки. *Б.* Внешний вид ушного лабиринта. Другие каналы служат детекторами ускорения и направления силы тяжести. *В.* Поперечный разрез улитки, на котором видно расположение базилярной мембраны и кортиева органа. *Г.* Кортиев орган.

распознавания гласных важны не абсолютные частоты формант, а их соотношение между собой. Поэтому, чтобы различать звуки речи, так же как и видеть зрительные картины, нужно уметь "распознавать образы".

Существует и еще одна проблема. Как видно из рис. 31-3, *Е*, на формантных частотах может и не наблюдаться концентрация

энергии. Здесь звуковой спектр состоит из острых пиков основной частоты и ее обертонов, производимых гортанью, и поскольку в данном случае ни один из этих пиков не совпадает с формантными частотами, мы, очевидно, не можем слышать форманты.

Форманты — это не пики акустической энергии, а нечто более абстрактное, а именно максимумы непрерывной кривой, огибающей эти пики. Когда раздаются звуки речи, нервная система подбирает кривую, лучше других описывающую подъемы акустической энергии, а потом определяет максимумы, или пики, найденной огибающей кривой. Эти-то максимумы и есть форманты F_1, F_2, F_3 и т. д. "Подбор кривой" — это, конечно, формальное определение того, что происходит. Фактические действия нервной системы, приводящие к такому результату, несомненно, отличаются от метода подбора кривых к точкам, которым мы пользуемся для получения графиков и в математических расчетах.

"Речь" птиц

Слуховые сигналы, идущие в мозг от уха, подвергаются переработке и кодированию; они распознаются как тот или иной звук тогда, когда код обладает определенными абстрактными свойствами. Поскольку разные звуки могут кодироваться одинаково, некоторые из них, например те, что издают "говорящие" птицы, могут распознаваться как речь, даже если по физической природе они довольно сильно отличаются от настоящей речи.

Вместо обычной гортани у птиц в каждой их двух трубок, ведущих к легким, имеется *сиринкс* — "нижняя гортань", способная издавать чистые тоны. У многих птиц, в особенности у "говорящих", таких, как майна и попугаи, каждая из этих двух гортаней контролируется отдельно, поэтому птицы могут производить сразу два тона, частоты которых изменяются во времени. Эти тоны могут в дальнейшем останавливаться на такой частоте, которая характерна для основной частоты человеческой речи. Хотя акустический спектр говорящего попугая сильно отличается от нашего, в том случае, если изменение частот двух его чистых тонов в целом воспроизводит частоты формант, звук, издаваемый попугаем, приобретает те же абстрактные свойства, что и человеческая речь, и может соответственно распознаваться. Можно сказать, что речь попугая относится к человеческой речи примерно так же, как карикатурный набросок, сделанный тушью на белой бумаге, относится к тому, что он должен изображать.

На рис. 31-6 показаны возможности говорящей майны. Слева

птица имитирует фразу "Я люблю виноград" (по-английски). Физически звуковые спектры слов, произносимых птицей и ее дрессировщицей миссис Боуэр, не очень сходны, но речь птицы частично обладает теми же абстрактными свойствами (в данном случае это временны́е вариации основной частоты), так что фраза легко распознается нами, как, например, и смысл предложения, написанного двумя разными людьми, несмотря на различие почерков.

Удивительно не то, что птица может издавать звуки, сходные с человеческой речью, а скорее то, что она способна идентифицировать абстрактные свойства звуков, которые она слышит, чтобы воспроизвести их. Птица, таким образом, обладает одной из существенных предпосылок для овладения языком — способностью анализировать и распознавать звуки речи. Однако на этом ее возможности кончаются: она не понимает того, что слышит или говорит, так что язык ей недоступен.

Основные единицы речи — слоги

Когда мы произносим отдельную гласную, формантные частоты остаются постоянными, но при произнесении слогов, например "ди", "ду", "ба" или "га", они в процессе артикуляции меняются: сначала повышаются или падают, а затем устанавливаются на постоянном уровне (рис. 31-7). Изменяющуюся часть называют переходной фазой. Поэтому можно было бы подумать, что этот-то переход и соответствует начальному согласному — б, д или г, а плато — гласному. Но это не совсем так.

Слоги [ди] и [ду] имеют один и тот же начальный согласный [д], но переходы у них весьма различны. В слоге [ди] частоты обеих формант повышаются, в слоге [ду] сначала повышаются, а затем понижаются. Очевидно, звук [д] представлен не одним переходом — его интерпретация как [д] зависит от последующего гласного.

До недавнего времени считалось, что язык состоит из дискретных звуков, более или менее соответствующих буквам алфавита. Если бы это было так, то можно было бы записать непрерывную речь на магнитную пленку, затем вырезать звуки, соответствующие буквам алфавита (разумеется, фонетического), соединить их вместе в подходящей последовательности и образовать любые нужные предложения. Ожидали именно такого результата, но когда это было сделано, полученные предложения оказались в основном неудобопонятными. Причина непонимания "синтетической речи" состоит в том, что звуки, соответствующие буквам, не являют-

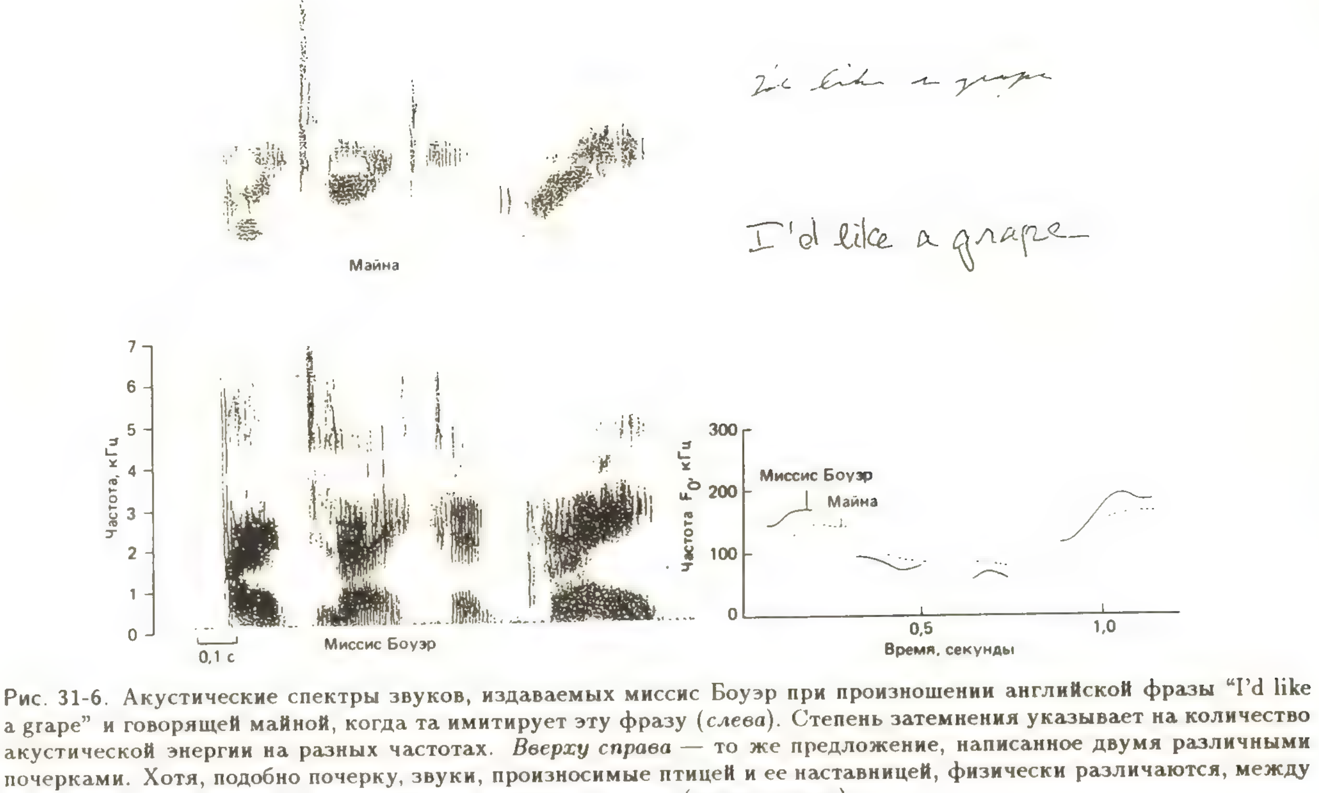


Рис. 31-6. Акустические спектры звуков, издаваемых миссис Боуэр при произношении английской фразы "I'd like a grape" и говорящей майной, когда та имитирует эту фразу (*слева*). Степень затемнения указывает на количество акустической энергии на разных частотах. *Вверху справа* — то же предложение, написанное двумя различными почерками. Хотя, подобно почерку, звуки, произносимые птицей и ее наставницей, физически различаются, между ними есть что-то общее — ход изменения основных частот (*внизу справа*).

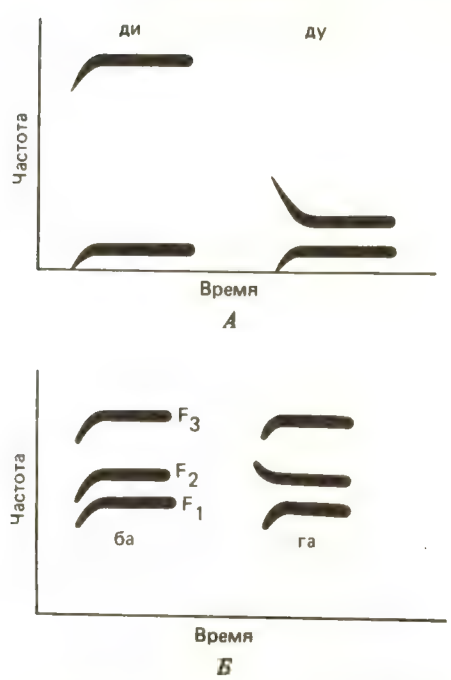


Рис. 31-7. Формантные частоты слогов *ди, ду, ба* и *га*.

ся теми единицами, которые распознаются детекторами речевых элементов в нашей слуховой системе. Такими единицами служат слоги. Слог [ди], например, слышится не как сумма звуков [д]+[и], поскольку [д] в [ди] сильно отличается по своим физическим свойствам от [д] в [ду].

То, что мы распознаем в качестве единиц именно слоги, демонстрируют те трудности, которые испытывают некоторые люди при чтении. После нескольких лет обучения отдельные лица, очень плохо усваивающие материал, так и не смогли распознавать даже односложные написанные слова, такие, например, как "кот", "дом" и т. п. Тогда им объяснили, что китайский иероглиф для слова "кот" на самом деле обозначает слог, который произносится как "кот", и т. д. для множества других слов. С помощью таких символов люди научились быстро и без труда читать и писать. Иероглифические знаки быстро усваивались, так как они соответствовали естественным единицам речи — слогам. Но разложение слова "кот" на звуки к + о + т вызвало большие затруднения. Не следует, однако, обобщать результаты этого конкретного исследо-

вания; способность читать и писать достаточно сложна, и далеко не все трудности возникают по подобным причинам.

Категоризация: либо БА, либо ДА

Еще одна важная проблема, возникающая при распознавании элементов речи, — это категоризация, основные принципы которой уже обсуждались в главе 22. С помощью голосового синтезатора мы можем воспроизвести слог "ба": здесь частота форманты F_2 в переходной фазе понижается. Если бы она повышалась, мы услышали бы "га" (рис. 31-7). Но если мы будем постепенно изменять "наклон" переходной фазы "ба" в сторону "га", мы не услышим какого-то слога, промежуточного между "ба" и "га", а будем слышать лишь тот или другой из этих двух. Мы относим звуки к ограниченному числу категорий и не воспринимаем никакие другие.

Преимущество распределения звуков речи по привычным категориям (либо "ба", либо "да") состоит в том, что в таком случае мы сможем распознавать их, даже если они сильно искажены или плохо слышны из-за шума. Если бы звуковая информация не обрабатывалась подобным образом, понимание речи было бы возможно лишь при стандартном произношении в звуконепроницаемой комнате.

Способность к разделению звуков речи на категории является отчасти врожденной, отчасти приобретенной. Есть данные о том, что ребенок, по-видимому, рождается со способностью опознавать и различать большое число категорий речевых звуков, возможно даже все звуки, встречающиеся в человеческих языках. Но будучи погружен в стихию родного языка, он привыкает распознавать фонемы только этого языка, т. е. подразделять все звуки на меньшее число категорий, так что некоторые близкие, но не идентичные звуки могут и не восприниматься как различные. Например, то, что мы слышим как "л", японцы слышат как "р", для эстонцев "б" — это "п", а для носителей английского языка русское "мы" звучит почти как "ми".

Способность делать именно такие, а не иные разграничения формируется в "критический период" раннего детства, после чего изменения категорий даются с трудом или вообще невозможны. Поэтому, хотя мы и можем достаточно хорошо усвоить структуру и словарь иностранного языка в более поздние периоды жизни (чем позже, однако, тем труднее), практически невозможно в совершенстве овладеть фонетикой, т. е. научиться "говорить без акцента", если критический период остался далеко позади.

Таковы многочисленные биологические особенности, необходимые для произнесения и распознавания звуков речи. Но одного этого недостаточно для существования языка: не менее важную роль играет его смысл.

Литература

Bouhuys Arend. The Physiology of Breathing, Grune and Stratton, New York, San Francisco, London, 1977.

Lieberman Philip. The Biology and Evolution of Language, Harvard University Press, Cambridge MA, 1984.

Negus Victor. The Biology of Respiration, E. & S. Livinstone Ltd., Edinburgh and London, 1965.

Глава 32

Использование языка

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Различным человеческим языкам приходится обучаться, но в них есть и врожденные элементы, в основе которых лежат нервные механизмы, детерминированные генетически.

Для использования языка нужна способность к абстрагированию и к формированию общих понятий. Затем понятия заменяются символами — словами, которые постепенно образуются из звуков и жестов, выражающих намерения, настроения и эмоции. За стадией одиночных слов или их парных сочетаний следует развитие синтаксиса, который устанавливает взаимоотношения между словами. Способность пользоваться синтаксисом имеет анатомическую основу. У человека участок левого полушария мозга, называемый полем Брока́ и отсутствующий у человекообразных обезьян, по-видимому, специфически связан с активной речью и с ее пониманием.

Голосовой аппарат австралопитековых был еще не способен воспроизвести все звуки человеческой речи, но *Homo erectus* уже смог бы это сделать и, вероятно, пользовался какой-то формой языка. Возможно, однако, что современные языки развились сравнительно недавно, с появлением современного человека.

Хотя понятия могут формироваться и использоваться и без участия языка, последний значительно облегчает этот процесс. Взаимодействие понятий и слов можно проиллюстрировать на примере понятия числа (об этом позже).

Хотя язык позволяет человеку передавать сложную информацию, он сохраняет также некоторые из своих более ранних функций. В человеческих сообществах единообразие поведения часто обеспечивается с помощью стандартных выражений, которые имеют форму языка, но в функциональном отношении больше похожи на вокализации представителей других видов, несущие главным образом эмоциональное содержание.

Приобретенное и врожденное в языке

Геродот рассказывает, что в бытность его в Мемфисе жрецы бога Вулкана поведали ему следующую историю. Египетский фараон Псамметих (664–610 до н. э.) пожелал узнать, какой из народов древнейший. Поэтому он поручил пастуху заботиться о двух младенцах, никому не позволяя разговаривать в их присутствии. О первых произнесенных ими словах следовало сообщить царю. Первым оказалось слово "bekos", по-фригийски — хлеб; так как дети должны были заговорить на первоначальном языке человечества, фараон заключил из этого, что фригийцы — древнейшая из наций. Очевидно, тот, кто придумал этот рассказ, считал, что язык носит врожденный характер и ему не нужно обучаться.

Самый прямой способ узнать, в какой степени язык наследуется, состоит в том, чтобы вырастить детей в изоляции, как это якобы и сделал фараон, а затем выяснить, на каком языке они станут говорить. Из очевидных этических соображений подобные эксперименты не проводятся, но иногда возникают ситуации, в какой-то мере близкие к ним. Приведем два примера.

Дети, глухие от рождения, при воспитании их в группах начинают общаться между собой на языке жестов, сходном по своим синтаксическим особенностям с разговорным человеческим языком, который они, разумеется, никогда не слышали. Это позволяет думать, что способность использовать язык не только врожденна, но и может осуществляться разными путями, не обязательно в звуковой форме.

Другой пример — привезенные из Африки рабы, которые убегали и образовывали свободные поселения в глубине Южной Америки. Прибывшие из разных мест, они не владели таким языком, который был бы понятен всем, и общались с большими трудностями. Но их дети быстро сформировали новый, совершенно нормальный и хорошо структурированный язык — креольский.

Как и многие другие формы поведения, использование языка связано с участием как врожденных, так и приобретенных механизмов. Существует сильная врожденная тенденция к самовыражению посредством языка в той или иной форме, как мы видели на примере спонтанного языка жестов у глухих детей, и механизмы, позволяющие произносить, воспринимать на слух и интерпретировать звуки речи, заранее "встроены" в мозг. Поэтому лингвистика — это в какой-то своей части раздел нейрофизиологии, изучающий структуру и функции тех мозговых нервных сетей, с которыми связана основная, "базовая" структура языка. В то же время, однако, существуют тысячи различных языков и наречий,

и каждый ребенок еще должен обучиться своему родному языку, так что специфические особенности любого языка передаются уже с помощью культурных, а не генетических механизмов.

Язык как социальная деятельность

Необходимое условие для развития языка — общество, члены которого уже интенсивно общаются друг с другом, как, например, шимпанзе. Чтобы обучиться языку, недостаточно слышать, как говорят другие, — язык должен быть частью каждодневной жизни. Те, кто учится говорить, должны видеть тот эффект, который производит их речь, и реагировать на речь других так, как от них этого ожидают. Например, голландские дети смотрят много передач немецкого телевидения, транслируемых через границу. Однако они от этого не овладевают немецким; они учатся голландскому у тех, с кем они связаны и общаются.

Язык в своем развитии проходит несколько стадий, самую раннюю из которых можно наблюдать у шимпанзе и, возможно, других приматов.

А. Прежде всего, для использования языка необходима способность к абстрагированию и формированию общих понятий. Как мы упоминали ранее, шимпанзе уже обладают этой способностью, хотя и не в такой степени, как мы.

Б. У приматов, как и у многих других животных, вокализации выражают настроения и намерения животного.

В. То, что выражает вокализацией одна особь, понятно другим. Коммуникативные жесты и голосовые реакции человекообразных обезьян очень разнообразны; они создают благоприятные условия для развития языка.

Г. Вокализации, вначале выражавшие настроения и намерения, в дальнейшем естественным образом все больше ассоциируются с ситуациями и предметами, вызвавшими эти настроения и намерения. Например, звуки, означающие удовольствие того, кто нашел гнездо термитов, будут впоследствии выражать для слушателя не настроение ("я рад своей находке"), а найденный объект — термитник. Так вокализации становятся словами — символами или знаками понятий.

Этот пример совсем не из области воображения. Африканские верветки (род обезьян) издают различные звуки тревоги, заметив хищника. Их крики означают не просто сигнал опасности, они специфичны в зависимости от вида хищника, от того, леопард это или ястреб, так что молодые обезьяны учатся понимать их конкретный

смысл. Кроме того, эти крики тревоги обычно издаются лишь тогда, когда кто-то может их услышать, а иногда — чтобы обмануть сородичей. Например, самец верветки, раздраженный присутствием других членов стада и, видимо, желая избавиться от них, издает обманный крик, означающий появление леопарда, что заставляет всех взбираться на ближайшее дерево. Подобные крики, таким образом, очень близки к тому, что мы называем словами.

"Язык", которому можно обучить шимпанзе и в котором слова и понятия заменяются фишками или жетонами, тоже демонстрирует, хотя и на более высоком уровне, ту же стадию развития языка. Но поскольку в природе таким языком шимпанзе не пользуются, способность употреблять одиночные "слова" или пары слов, очевидно, предшествует действительному использованию языка. Аналогией в данном случае может быть письмо. Способность читать и писать существовала в течение долгого времени, но была реализована лишь тогда, когда письмо было изобретено и стало передаваться из поколения в поколение. А изобретено оно было только тогда, когда усложнившийся образ жизни потребовал его практического применения.

Д. И наконец, создается синтаксис, определяющий взаимоотношения между словами. А раз уж появился синтаксис, то, по общему согласию всех лингвистов, достигнута стадия "настоящего" языка.

Древнейшие стадии языка

Ранние попытки научить шимпанзе говорить были обречены на неудачу, так как голосовой аппарат шимпанзе не может воспроизвести многие из тех звуков, которые произносим мы. Большего успеха достигли те, кто обучал шимпанзе общаться на языке жестов, которым пользуются глухонемые, или с помощью жетонов различных очертаний, символизирующих слова наподобие китайских иероглифов. Маленькие дети тоже, видимо, легче усваивают знаковую речь, чем голосовую: глухонемые 9–10-месячного возраста пользуются жестами на таком уровне, который достигается нормальными детьми в разговоре к 16–24 месяцам. С помощью жетонов шимпанзе быстро выучивают "словарь" порядка 100 знаков и более, которым успешно пользуются.

Жесты, употребляемые шимпанзе, могут символизировать не только предметы, но также классы предметов или действий. При этом первоначально более узкие понятия могут в дальнейшем расширяться. Так, одна самка шимпанзе пользовалась жестом, кото-

рый вначале выражал понятие “грязный” — это было его как бы “вежливое” значение; в таком смысле он служил главным образом для обозначения испражнений: например, детский стульчак назывался “хороший грязный”. Но потом она начала употреблять этот жест, вкладывая в него обидный смысл: “грязная обезьяна”, “грязная кошка”, а когда она была недовольна ухаживающим за ней служителем, то и “грязный Роджер”.

Соотношение слов и понятий, формируемых шимпанзе, вовсе не обязательно такое же, как у нас. Когда обезьяну обучили пользоваться жестами, означающими “черный” и “жук”, она стала пользоваться жестом “жук” для обозначения насекомых, но называла “черными жуками” также и других шимпанзе. Очевидно, в ее понимании “жуком” был всякий движущийся или живой объект. Это не удивительно, так как и в языках человека понятия тоже часто лингвистически подразделяются разными способами. Так, в русском языке есть слово “огонь” (того же корня, что английское *igneous* — огненный, от латинского *ignis* — огонь). Однако если огонь становится разрушительным и для его тушения нужны усилия специальной бригады, его называют уже словом “пожар”, тогда как в английском языке в обоих случаях употребляется одно и то же слово — *fire*. Еще более неожиданный пример можно привести из языка некоторых меланезийских племен. У них существует слово, означающее “человек”, и еще одно для обозначения белого человека, который, на взгляд меланезийцев, как бы не вполне человек. Любопытно, что в понятие, выражаемое словом “человек”, попадает и ямс, который, как полагают, гуляет ночами по огороду и, стало быть, более похож на настоящих людей, чем белый человек.

Синтаксис

“Настоящий язык” в том смысле, в каком этот термин употребляют многие лингвисты, предполагает способность устанавливать между словами определенные отношения, т. е. способность пользоваться синтаксисом. Средства для этого в различных языках могут быть разными. В английском это в основном зависит от порядка слов: например, фраза *the man loves the dog* означает “человек любит собаку”, а фраза *the dog loves the man* — “собака любит человека”. Но во многих других языках, например латинском и русском, соподчинение слов выражается их формой, а не порядком. Так, *homo canem amat* по-латыни тоже означает “человек любит собаку”. *Homo* здесь именительный падеж, а *canem* —

винительный, поэтому фраза не изменит смысла и после перестановки: *canem amat homo*. Таким образом, синтаксис не сводится к одному лишь расположению слов.

Развитие синтаксиса было вызвано в основном стремлением уменьшить возможность языковых двусмысленностей. Коммуникация между шимпанзе, так же как и разговор с очень маленькими детьми, касается в основном ситуации "здесь и сейчас". Несомненно, так обстояло дело и у древнейшего человека: контекст исключал неоднозначность понимания и сводил потребность в синтаксисе к минимуму. Когда вы говорите своему другу "дай мне" и одновременно протягиваете руку к банану, который он держит, он тотчас поймет, что вы подразумеваете под этим "дай мне банан". Но если вы хотите выразить более сложную мысль, например "дай мне банан, или я стукну тебя по голове", недостаточно просто сказать "банан стукнуть голова", так как это можно будет понять и как просьбу ударить по голове бананом.

В языке, которому обучали обезьян, уже содержалось некоторое понимание взаимоотношений между словами. Можно сказать, что шимпанзе пользовались жестами "продуктивно", в том смысле, что они употребляли сочетания слов для образования новых слов или понятий: например, лебедя называли "водяной птицей" (сочетание жестов "вода" и "птица") независимо от того, видит ли его обезьяна в воде или нет. Но способность шимпанзе к построению предложений весьма ограниченна: большинство предложений состоит только из одного или двух слов. На этом основании многие лингвисты отказываются признать за шимпанзе способность пользоваться языком. Отчасти это связано с желанием спасти, если это вообще возможно, представление об уникальности человека — стремлением столь же сильным у некоторых ученых, как и у теологов.

Конечно, легко дать языку человека такое определение, чтобы язык, которому обучаются шимпанзе, нельзя было считать языком. Однако подобная попытка *ad hoc* спасти "уникальность человека" ведет к серьезным трудностям. Тот уровень, которого достигают в развитии языка обезьяны, примерно соответствует уровню двух- или трехлетних детей — они тоже общаются с помощью предложений, состоящих из одного-двух слов. Никто как будто не сомневается, что двух-трехлетние дети говорят на человеческом языке, в том смысле, что их язык есть стадия в развитии языка взрослых. Но всякая попытка определить "человеческий язык" таким образом, чтобы язык шимпанзе оказался "не языком", ведет к заключению, будто и язык двух-трехлетних детей не имеет отношения к человеческому. По-видимому, куда более разумно

говорить, что, хотя язык, которому обучаются шимпанзе, действительно лишен многих свойств "нормального" человеческого языка, он тем не менее сходен с одной из стадий в его развитии.

Для понимания последующих стадий, особенно путей развития синтаксиса, полезно было бы изучить примитивные человеческие языки, но оказывается, что таких уже нет. Все современные языки находятся в структурном отношении на одном и том же уровне. Их словарный состав различен, но каждый язык быстро создает или заимствует новые понятия, когда в них возникает надобность. Например, у огнеземельцев не было слова, эквивалентного английскому junc bonds, но его не было и у англичан, пока они не начали наводнять рынок своими товарами.

Поле Брока́

Синтаксис выходит за пределы возможностей шимпанзе по анатомическим причинам. В левом (но не в правом) полушарии человеческого мозга имеется область, называемая "полем Брока́". Она находится возле того участка мозга, где расположены различные моторные центры, управляющие движениями рук, губ и т. п. (см. рис. 26-6, *А*). При повреждении этой области, например в результате инсульта, страдает речь, что выражается в так называемой *афазии* — частичной или полной неспособности говорить и понимать речь. Существует множество различных форм афазии, проявления которой, видимо, зависят от точной локализации и величины очага поражения. Замедляется и ухудшается артикуляция звуков, нарушается грамматический строй речи; например, у говорящих на английском языке могут выпадать слова "*the*", "*is*" и т. п. Иногда понимание простых предложений, вроде "она увидела мужчину, мужчина курил трубку", не нарушено, однако восприятие более сложных конструкций, например "она увидела мужчину, который, как ей показалось, курил трубку", составляет определенную трудность.

В левом же полушарии мозга у человека расположено и поле Вернике, связанное с другим полем, получающим сигналы от слуховой системы (см. рис. 21-6, *А*). При повреждениях в этой области возникают трудности в понимании слов, и хотя речь может оставаться беглой, ее содержание становится пустым и лишенным смысла. Поле Вернике относится к числу "слуховых ассоциативных зон", от него зависит установление связей между звуками и другими сигналами, например приходящими из кладовых памяти.

То, что мы называем грамматикой, каким-то образом представлено нервными сетями полей Брока́ и Вернике. Один больной

с повреждением мозга утратил способность узнавать имена собственные, но не остальные существительные; другой пропускал при письме гласные, но правильно писал согласные. По некоторым данным, мутация одного гена нарушает способность пользоваться временами глаголов. Можно представить себе, что когда-нибудь в будущем, по мере роста наших знаний, грамматикой будет служить описание нервных сетей, "естественным" образом определяющее структуру языка. Но пока до этого далеко.

У других животных, в том числе и у шимпанзе, лишенных "настоящего языка", т. е. такого, в котором в значительной мере использовался бы синтаксис, отсутствует и поле Брока. Подобные поля, вероятно, формировались на основе уже имевшихся участков мозга, и Либерман высказал предположение, что поле Брока первоначально было двигательным центром, ответственным за вокализации. По мере того как у древнейшего человека возрастала способность производить разнообразные звуки, этот центр начал упорядочивать определенные движения, связанные с произнесением слов, трансформируя их в типовые последовательности.

Когда впервые появился язык?

Язык не сохраняется в виде ископаемых остатков, поэтому у нас нет прямых данных о действительно древних языках. Но если предположить, что способность произносить речевые звуки и способность пользоваться языком развивались одновременно, можно сделать некоторые заключения на этот счет, так как первая из этих способностей отражена в анатомии голосового аппарата.

Животные со "стандартным планом" строения верхних дыхательных путей способны производить голосовые звуки, но не в таком разнообразии, как люди. Мы способны на это потому, что гортань у нас расположена низко, а глоточная полость велика, так что ее размеры могут значительно изменяться в зависимости от движений языка (см. рис. 31-2). У шимпанзе и других человекообразных обезьян гортань располагается выше, а глоточная полость невелика, и это существенно ограничивает изменение ее размеров. Пространство гласных, т. е. первые две формантные частоты гласных звуков, издаваемых шимпанзе, гориллой и макаком-резусом, изображено на рис. 31-4. Эти обезьяны действительно могут издавать некоторые гласные звуки, но не наши [и], [а] и [у]. Точки в пространстве гласных группируются у них вокруг такого "а", как в английском слове *about*. По сходным причинам обезьяны не могут произносить и наши согласные [г], [к] и др.

В принципе можно изучать эволюцию человеческой речи, прослеживая изменения голосового аппарата от "стандартного" до ти-

пичного для взрослого человека. Хотя большая часть важных анатомических особенностей касается мягких частей, не сохраняющихся в виде ископаемых остатков, эти мягкие части связаны с элементами скелета, которые часто сохраняются, и по ним можно определить, хотя и не очень точно, положение гортани, языка и размеры глотки.

Вполне очевидно, что у австралопитеков голосовой аппарат был устроен по стандартному для млекопитающих плану, и, значит, их способность к речи была ограниченной. Но около миллиона лет назад дыхательные пути *Homo erectus* настолько изменились, что гортань уже не могла входить в носоглотку. Вероятно, это указывает на то, что *Homo erectus* уже мог говорить, хотя едва ли цветистой прозой. Эволюция способности произносить разнообразные звуки продолжалась, и примерно 250 тыс. лет назад более или менее достигла современного уровня. Возможно, однако, что по своей структуре язык древнего человека находился еще на низком уровне. Немало лингвистов полагает, что все современные человеческие языки родственны друг другу, и в таком случае есть основания предполагать, что языки "современного" типа сформировались сравнительно недавно — лишь после появления человека вполне современного типа, скажем, позже 30 тыс. лет до настоящего времени.

Значение языка

Ясно, что "мысль" и язык связаны, но по поводу того, что здесь первично и что вторично, не обошлось без долгих дискуссий.

Некоторые школы пытались свести философские проблемы к лингвистическому анализу. В своем наиболее крайнем выражении это течение приняло форму антиментализма, отрицающего существование таких вещей, как мысли и даже понятия. Согласно антименталистам, существуют только слова, и мы "думаем", манипулируя символами, которые именуем словами. Тем самым "мысль" есть продукт языка.

Но человекообразные обезьяны, не использующие языка, тем не менее формируют понятия и пользуются ими; значит, с эволюционной точки зрения понятия предшествуют языку. Так же обстоит дело и в онтогенезе (индивидуальном развитии) человека, поскольку можно легко показать, что у детей понятия предшествуют словам. Более того, глухонемые дети, достигнув такого возраста, когда их здоровые сверстники начинают пользоваться языком, могут далеко продвинуться в формировании понятий. Все это указывает, в противовес антименталистам, на то, что мысль возникает раньше языка.

Однако все же вернее будет сказать, что между этими двумя вещами существует тесное взаимодействие. В то время как понятия ведут к возникновению языка, последний, начав употребляться, неимоверно облегчает дальнейшее формирование и использование понятий. Вполне вероятно, что низкие коэффициенты интеллектуальности (IQ) у сельских жителей и представителей городских низов отчасти обусловлены низким уровнем использования языка.

Язык и понятие числа

Взаимосвязь между мыслью и языком можно очень хорошо проиллюстрировать на примере понятия числа, потому что мы можем проследить его эволюцию до человеческой стадии, а также потому, что для подавляющего большинства человечества эта эволюция еще не завершилась.

У большинства животных понятие числа отсутствует. Это не значит, что они не способны отличить набор из двух от набора из трех однотипных предметов. Чего они не могут, так это понять, что два набора из трех различных предметов, например трех мышей и трех деревьев, имеют между собой нечто общее. Они лишены понятия "троичности". Но это сравнительно недавнее приобретение даже для человека. Как прекрасно выразился Бертран Рассел, "Должно было пройти много веков, прежде чем пара фазанов и пара дней оказались примерами употребления числа два".

Тем не менее зачатки абстрактного, хотя и не выраженного вербально, представления о числе имеются у некоторых птиц. Ворону можно научить распознавать крышку коробки с нарисованными на ней четырьмя фигурами; в дальнейшем птица будет так же реагировать и на другие крышки с четырьмя фигурами, хотя сами фигуры могут быть разными и расположенными различным образом. "Понятие числа" у таких птиц доходит до цифры пять или даже семь: таково максимальное число элементов, при котором еще возможно правильное суждение о равенстве или неравенстве. Такие же способности выявляются у некоторых высших приматов, но их нет у лошадей или собак.

С очевидностью возникает вопрос, является ли наше понятие числа, а стало быть, и большая часть наших математических представлений лишь количественным наращиванием того восприятия чисел, с которым мы сталкиваемся у птиц, или это нечто новое и совершенно иное. Ответ состоит в том, что наше понятие числа начинается с того же, что мы видим у птиц, а именно с чувственного восприятия числа, но его дальнейшее развитие основано на чем-то абсолютно новом — на способности давать числам названия, т. е. на языке.

Эксперименты даже с участием хорошо образованных взрослых

испытуемых показывают, что наша способность распознавать числа, как и у птиц, ограничена примерно числом семь, если только мы при этом *не считаем*. Если группу крестиков и группу ноликов числом не более пяти-семи на мгновение спроецировать на экран, мы тотчас определим, есть ли между ними что-то общее, т. е. одинаково ли в них число элементов. В этом отношении мы стоим не выше птиц. Но мы оставим птиц далеко позади, если у нас будет достаточно времени для счета. Одной группе мы тогда дадим, например, числовое название "одиннадцать", другой — "тринадцать" и сделаем вывод, что они не объединены общим числом. Таким образом, подсчет, использующий наименование чисел, — это грандиозный шаг вперед по сравнению с понятием числа, имеющимся у птиц, и он стал возможен благодаря применению языка.

Счет начался с того, что человек дал названия пальцам рук. Теперь можно было перебирать предметы один за другим и соответственно загибать пальцы, одновременно произнося их названия; так числовой ряд приобрел строгую последовательность. Представление о количестве свойственно и вороне, и человеку, но понятие порядковых числительных и способность считать присущи только человеку, так как для счета нужен язык.

Однако наша способность считать, по-видимому, развивалась постепенно и совершенствовалась уже после того, как язык достиг своего теперешнего уровня. Одно из свидетельств ее довольно позднего развития можно найти в так называемых текстах египетских пирамид. Они восходят ко времени пятой или шестой династий, и их относят к периоду около 2300 лет до н. э., но, судя по их архаичному языку, они могли быть написаны намного раньше, особенно некоторые из них, — в додинастический период, т. е. ранее 3200 г. до н. э. Тексты представляют собой собрание гимнов, заклинаний и наказов, предназначенных для умершего фараона с тем, чтобы помочь ему избежать опасностей, которые подстерегают его в пути, прежде чем он присоединится к компании богов[1]. В

---

[1]Основная идея этих текстов состоит в том, что слово эквивалентно предмету, поэтому при достаточно долгом и энергичном его повторении то, что оно означает, должно произойти. Мы хорошо знакомы с подобным представлением, так как наши крики, вопли и стоны на футбольных матчах и заклинания на политических митингах есть не что иное, как попытка реализовать желаемое. Но египтяне пошли чуть дальше. В некоторых местах текстов перечисляется, чего желал бы фараон после смерти: стать величайшим из богов и съесть других, которые должны трепетать при его приближении. "Больших он съест на завтрак, средних — на обед, мелких — на ужин". Но хотя "жизнь фараона равна вечности", пирамида следующего правителя снабжена той же подписью. А так как он в свою очередь должен съесть предшественника, вечность оказывается довольно короткой. Но кто будет искать логику в религиозных текстах?

одном месте фараон, нуждаясь в услугах "перевозчика через извилистое русло", прибегает к "пересчету пальцев". Согласно толкованию Нейгебауэра, фараон должен продемонстрировать перевозчику, что он способен пересчитать пальцы. Он проходит через это испытание, так как является "великим волшебником". Очевидно, в додинастические времена умение считать дальше двух или трех рассматривалось как заметное достижение, подобно тому как в наши дни обычная публика относится к умению применять дифференциальное и интегральное исчисление.

Вначале под числами подразумевались только целые величины, но использование цифровых символов вскоре позволило расширить само понятие числа. Египтяне начали с деления: $6/3 = 2$, $9/3 = 3$ и т. д. Но если это так, что такое $7/3 = 2\frac{1}{2}$, не являющееся целым числом? Обобщая правила деления, египтяне вынуждены были признать, что дроби — тоже числа.

Дальнейшее развитие способности манипулировать числами было очень трудным, пока для этого не придумали специальный язык с собственной грамматикой. Мы называем его алгеброй. Первоначально алгебра была "риторической", т. е. для постановки и решения алгебраических задач использовался обычный язык. Вот как, например, сформулировал и решил квадратное уравнение математик Мухаммед бен Муса аль-Хуваразми в VIII в. н. э.:

"Квадрат и десять его корней равны девяти и тридцати дирхэмам; т. е. если добавить десять корней к одному квадрату, сумма будет равна девяти и тридцати. Решение такое. Возьмите половинное число корней, в данном случае пять; потом помножьте его само на себя, получится пять и двадцать. Добавьте этот результат к девяти и тридцати, полу́чите шестьдесят четыре; возьмите квадратный корень, т. е. восемь, и вычтите из него половину числа корней, а именно пять, и тогда останется три: это корень квадрата, который требовалось найти, а сам квадрат равен девяти".

Следующим шагом на пути к более удобной записи была "синкопированная алгебра" — риторическая алгебра, в которой часто встречающиеся слова и действия, такие как "минус", обозначались одиночными буквами или аббревиатурами. Наша нынешняя "символическая алгебра" была разработана на основе синкопической в XVI–XVII вв. Пользуясь символическими обозначениями, задачу аль-Хуваразми можно записать так:

$$x^2 + 10x = 39,$$

$$\text{или} \quad x^2 + 10x + 25 = 64,$$

$$\text{т. е.} \quad (x+5)^2 = 8^2;$$

$$\text{следовательно,}\quad x + 5 = 8$$
$$\text{и}\quad x = 3$$

Превосходство символической алгебры очевидно. Этот язык имеет грамматику — "алгебраические правила", которые облегчают механическое манипулирование символами, поэтому решение уравнений теперь не требует особых математических способностей и ему можно обучить любого школьника. Кроме того, становится намного проще получать обобщенные результаты, а не просто отдельные цифровые решения.

Открытие отрицательных чисел было связано с началом использования уравнений. Диофант, математик из Александрии, назвал уравнение $4x + 20 = 4$ "абсурдным", поскольку в нем $x = -4$, а "очевидно", что нельзя отнять от чего-то больше, чем в нем есть. Поэтому считалось, что такие уравнения, как $x + 12 = 7$, не имеют решения. Отрицательные числа изрядно претерпели от математиков, прежде чем были ими признаны. Лишь постепенно, с появлением физических интерпретаций отрицательных чисел, к ним стали относиться с должным уважением.

С точки зрения человечества в целом понятие числа все еще продолжает эволюционировать. Представление о системе рациональных чисел, первоначально включавшей "натуральные числа" и позже дополненной дробями и отрицательными числами, стало достоянием основной массы достаточно образованных людей. "Мнимые" числа, такие, как квадратный корень из -1, все еще служат как бы пограничной линией, а примеры дальнейшего расширения числовой системы, скажем, кватернионы и матрицы, пока известны только специалистам. Сегодняшняя ситуация позволяет по аналогии лучше понять, почему средний обыватель когда-то не мог представить себе нуля или отрицательного числа, а еще раньше — дробей. Но еще до этого должны были возникать сходные трудности с пониманием порядкового значения чисел.

Все это иллюстрирует в миниатюре проблему взаимодействия слов, играющих роль символов, и понятий в обычном языке. Символы позволяют расширять прежние понятия и создавать новые, для которых в свою очередь создаются новые символы. Наши отдаленные предки, подобные шимпанзе, достигли той стадии биологической эволюции, на которой у них уже имелись понятия, но без языка оперировать этими понятиями было делом очень трудным и непродуктивным, подобно тому как позже затруднено было риторическое манипулирование с алгебраическими величинами. Изобретение символов, выражающих понятия, и манипулирование ими по определенным правилам (синтаксис) необычайно расшири-

ло возможности животного в области понятийного мышления и сделало его человеком.

Функции языка у современного человека

Когда мы изучаем поведение других биологических видов, мы стараемся узнать не только о том, что́ их представители способны сообщать друг другу, но и что́ они в действительности сообщают и какую вообще функцию выполняет коммуникация в их сообществе. Когда мы переходим к изучению тех же проблем у человека, мы узнаём, что человеческий язык обладает и другими функциями, помимо манипулирования понятиями и передачи сообщений.

Одна из очень важных особенностей, отличающих нас от других приматов, состоит в том, что огромные массы представителей нашего вида населяют всю Землю, и для одного только выживания этих масс требуется жесткая организация, которая по мере роста населения должна становиться все более и более жесткой. До определенного предела единообразие поведения можно навязывать силой, однако самый дешевый способ — это сделать так, чтобы каждый сам хотел быть походим на других. В идеале можно представить себе такую ситуацию: сообщают, например, что продан уже миллиард гамбургеров, произведенных фирмой X, и тогда те потребители, которые их еще не покупали, должны будут чувствовать свою неполноценность, пока не станут обладателями гамбургера № 1 000 000 001. Но убедить их в этом с помощью одних только понятийных средств было бы трудно. И здесь на помощь приходит еще одна функция языка.

Язык развивается из голосовых реакций и жестов, выражающих настроения и эмоции, поэтому передача информации о настроениях и эмоциях с помощью языка остается важным аспектом повседневной жизни. Для этой цели язык сжимают до однострочных лозунгов, вроде “Cheer for beer” (“Да здравствует пиво”), которые хотя и облечены в форму человеческого языка, функционально эквивалентны воплям и крикам, служащим для выражения эмоций у других видов. В качестве исторических примеров можно привести: “Гроб Господень”, “Желтая опасность”, “Свободное предпринимательство”, “Зиг Хайль!”, “Вся власть Советам” и т. п. В каждом обществе можно насчитать до 20–40 таким воплей и кличей. Произнося их в различной последовательности и с разными интонациями, можно разыгрывать множество немудреных вариаций, добиваясь с их помощью поразительного эффекта: слушатели не только проникнутся их идеей, но и будут повторять их, требуя,

чтобы не немногие дегенераты, которые отказываются это делать, были строго наказаны. Короче говоря, одна из важных функций языка состоит в том, чтобы, воздействуя на уровне рефлексов, уничтожать мысль. Эта функция сочетает в себе эмоциональный и познавательный аспекты языка и составляет одну из сторон сложного продукта, называемого человеческой культурой.

Литература

Cheney D. L., Seyfarth R. M. How Monkeys See the World, University of Chicago Press, Chicago and London, 1990.

Tobias Dantzig. Number, the Language of Science, Anchor Books, 1954.

Thomas L. Heath. Diophantus of Alexandria: a study in the History of Greek Algebra, Cambridge University Press, 1910; reprinted by Dover Publications, Inc., New York, 1964.

Piaget Jean. Structuralism, Basik Books, Inc., New York, 1970.

Premack A. J., Premack David. Teaching Language to an Ape, Scientific American, October 1972, p. 72.

Глава 33

Триумф Ламарка

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Суть ранней теории эволюции, предложенной Ламарком, состояла в том, что эволюцию направляет "ощущаемая потребность", которая заставляет животных упражнять определенные органы, вызывая их гипертрофию. Измененные признаки затем передаются потомству.

Эта теория несостоятельна главным образом потому, что приобретенные анатомические и физиологические характеристики не передаются через гено́м (ДНК). Вместо нее Дарвин предложил свою: эволюция осуществляется путем естественного отбора мутаций, случайно возникающих в генетическом материале. Однако поведение, которое лишь частично определяется геномом, играет важную роль даже в чисто дарвиновской эволюции: он него может зависеть, какие из мутаций будут закреплены отбором, а какие — отброшены.

Между тем по мере развития нервной системы возникает *культура* — способность обучаться и передавать приобретенную мозгом информацию другим особям. Развитие культуры — это "экзосоматическая", т. е. "внетелесная", эволюция. Такую эволюцию можно считать "ламарковской" в том смысле, что она связана с передачей признаков, приобретенных в результате обучения, воспитания и предвидения; поэтому она происходит намного быстрее и эффективнее дарвиновской эволюции. В отношении человека это сейчас доминирующая форма эволюции. Поэтому, хотя Дарвин был прав, Ламарк в некотором смысле одержал над ним победу: мы становимся тем, кем хотим стать.

Ламарк

Существует хорошо известный рассказ о еретике по имени Ламарк, якобы намеренно вводившем людей в заблуждение, особенно по двум вопросам.

1. Первый вопрос касался жирафа. У его предка — с этим все согласны — была, вероятно, короткая шея. Но его не удовле-

творяло объедание листочков на кустарниках. Он мечтал о густой листве в кронах деревьев. Это желание побуждало его вытягивать шею, и поэтому у всех жирафов теперь длинные шеи. Животные эволюционируют потому, что они этого хотят.

2. Но как именно это произошло? Ну, возьмем, например, кузнеца. Изо дня в день он поднимает тяжелый молот, и в результате его мышцы развиваются. Понятно, говорит Ламарк, что и у детей кузнецов будут более крепкие мышцы. Так же обстояло дело и с предком жирафа, который вытягивал шею. Его детеныши унаследовали чуть более длинную шею и продолжали ее вытягивать. Мысль о наследовании приобретенных признаков, распространенная со времен далекой античности, находит приверженца в лице Ламарка, и мы называем это "ламарковской наследственностью".

Теперь при объединении двух этих еретических идей становится ясно, как происходит эволюция, и в особенности как она создает органы и формы поведения, столь чудесно приспособленные для определенных целей. Подобно жирафу, вы эволюционируете, когда думаете о желаемом. Такова теория эволюции Ламарка.

У сказки был счастливый конец. Св. Георгий, иначе именуемый Чарлзом Дарвином, поразил дракона, т. е. эту теорию, и вернул всех нас в лоно истинной веры — дарвиновской теории эволюции. Здесь нет места наследованию приобретенных признаков, все происходит путем естественного отбора случайных мутаций, без каких-либо желаний и целеполагания. В честь автора великой истины мы слагаем хвалебные гимны, стараясь не упоминать Уоллеса. А еретика подвергаем анафеме.

Как и во многих других случаях, в этой сказке — смесь правды и вымысла, а также некий итог того, что знает о Ламарке большинство биологов. Но, как и многие другие мифы, этот тоже служит определенной цели: он отражает и четко противопоставляет две величайшие точки зрения. Чтобы лучше понять его, нужно знать, каким был Ламарк в действительности.

Подлинный Ламарк

Жан-Батист Пьер-Антуан де Моне, шевалье де Ламарк (1744–1829) был одиннадцатым ребенком в семье довольно мелкого дворянина, владельца поместья в Пикардии. Отец хотел, чтобы он вступил в религиозный орден, для чего Ламарк обучался в иезуитской школе, но после смерти отца стал армейским офицером. Из-за ранения он впоследствии переехал в Париж, где проявил интерес к ботанике и написал знаменитую "Флору Франции". В Париже он подру-

жился с графом Бюффоном, в то время директором “Жарден-де-Руа”, или Королевского ботанического сада.

Бюффон (1707–1788) был влиятельной фигурой. Хотя сам он не внес особо выдающегося вклада в науку, он был знатоком многих ее областей, и до сих пор его помнят как человека, популяризовавшего знания среди образованной части общества в эпоху Просвещения, как справедливо именуют тот исторический период[1]. Он опубликовал многотомный обзорный труд о тогдашней науке с многочисленными изящными иллюстрациями. Несмотря на немалую цену, он хорошо раскупался, так как рынок был уже для этого подготовлен. Бюффон был также автором теории образования планет из материала, разбросанного при столкновении Солнца с кометой; эта теория предшествовала более поздней (и ныне забытой) гипотезе, согласно которой Солнечная система возникла при столкновении двух звезд.

При поддержке Бюффона Ламарк в 1779 г. был избран членом Академии наук и стал “королевским ботаником”, что давало престиж, но не доходы. В 1789 г. произошла революция. Но ни войны, ни восстания, ни террор и хаос не смогли погасить накала интеллектуальных страстей во Франции, который и обеспечил ей ведущее положение в научной и идейной жизни на довольно продолжительное время. И это определялось не одними лишь усилиями ученых и интеллектуалов. Несмотря на финансовые трудности, государство оказывало мощную поддержку искусствам и наукам, основывая целый ряд активных учреждений, из которых далеко не все были посвящены чисто практическим целям. В 1793 г. Ламарк становится профессором Музея естественной истории, занимаясь в основном изучением беспозвоночных. Это положение он сохраняет до конца жизни, живя в доме, некогда принадлежавшем Бюффону.

Ламарк преуспел в своих научных исследованиях по беспозвоночным, но, несмотря на уважение со стороны некоторых своих коллег, большинство воспринимало его с равнодушием или враждебностью. Он выдвинул теорию, согласно которой погоду можно

---

[1] Авторы американской конституции тоже принадлежали к эпохе Просвещения, хотя в ее несколько ином, английском варианте. Такие доктрины, как учение о правах человека, отразившееся в “Билле о правах”, выросли на французской почве. В Германии и России монархи обычно считали себя “просвещенными” личностями и понемногу вводили разного рода реформы и преобразования, стараясь при этом изо всех сил сохранить крепкую самодержавную власть. Для поощрения наук они приглашали иностранцев, в основном французов, но не слишком благосклонно взирали на “просвещение” своих подданных. Подобное правление называется “просвещенной деспотией”.

предсказывать исходя из положения Солнца и Луны, вызывающих атмосферные потоки, как это в какой-то степени и происходит на самом деле. Чтобы показать свою уверенность в этом, он несколько лет публикует календари с прогнозами погоды. Их ошибочность служила поводом для насмешек, в том числе обидных замечаний со стороны Наполеона.

В отношении политики Ламарк склонялся к республиканизму; это, а также его религиозные воззрения послужили причиной того, что после Реставрации на него смотрели с некоторым подозрением. Его друг граф Бюффон заявлял (разумеется, в частной беседе), что "... людям нужна религия. Я всегда упоминаю создателя в моих книгах... Это просто уловка, но люди столь глупы, что довольствуются ею". Ламарк как будто разделял взгляды Бюффона, хотя, возможно, и не в таком крайнем выражении. Он достаточно часто упоминал "Высшее существо" или "Автора", но независимо от того, верил он в его существование или нет, эта фигура не играла заметной роли: непостижимая и всемогущая, она никак не ограничивала его научного воображения.

Личную жизнь Ламарка едва ли можно назвать счастливой. Он четыре раза овдовел, несколько детей у него умерли, он ослеп в 1819 г. и из-за неудачного вложения денег впал в бедность. Но преданные ему дочери до конца были с ним рядом, помогая и в личных делах, и в работе. Смерть его стала заметным событием, так как в 1832 г. великий и несравненный Кювье написал в память о нем некролог, все еще знаменитый своим красноречием и бестактностью: в цветистых выражениях Кювье попросту измолотил покойного коллегу за сделанные им ошибки на научном поприще в целом и зоологическом в частности.

Ламарк и в самом деле был своеобразным и сложным человеком. Он был знатоком систематики и естественной истории и, кстати сказать, автором термина "биология", но многие его идеи, особенно в области физики и химии, были совершенно архаичны. Он не верил, что в основе звука лежит вибрация, и храбро сражался против "новой" (в нашем понимании — современной) химии. Он был склонен к широкомасштабным теориям, для обоснования которых у него почти не было фактических данных и которыми он надоедал своим коллегам, полагая, что спорит с ними. Большая заслуга Ламарка состоит в том, что он ввел в биологию временно́е измерение: настоящее — всего лишь краткий миг, который приобретает смысл лишь тогда, когда его рассматривают в динамике, в развитии. Да, он не сумел доказать, что протяженность времени очень велика и что все изменяется и эволюционирует, но он увидел это.

Это остается заслугой Ламарка, хотя сама формулировка понятия принадлежит не ему. Мысль об образовании Солнечной системы в результате столкновения двух небесных тел уже была высказана Бюффоном в 1755 г. Иммануил Кант в том же 1755 г. связывал это событие с газовым облаком. В 1796 г. в более детальном виде эта теория была разработана знаменитым астрономом и математиком Лапласом. Это было известно всем образованным людям, поэтому с идеей эволюции, по крайней мере в ее абстрактной форме, общество было знакомо. Но мало кто в то время захотел бы перенести ее в область биологии, поскольку никто не мог назвать механизм, который заставил бы один вид эволюционировать в другой. Ламарк нашел такой механизм.

Теория эволюции Ламарка

Ламарк опубликовал те воззрения, которые ныне считаются сущностью "ламаркизма", в своей "Философии зоологии" (1809), а также в более краткой форме во введении к своей "Естественной истории беспозвоночных" (1816). По его мнению, за исключением низших животных, которые обладают только раздражимостью (в нашем понимании — реагирующих непосредственно на раздражители), остальные животные обладают внутренним чувством (sentiment intérieur), которое заставляет их действовать так, чтобы тотчас удовлетворить возникающую потребность. Здесь не требуется сознания, воли или целеполагания, даже если животное (такое, как человек) наделено интеллектом. Это внутреннее чувство потребности или, скорее, обусловленное им поведение приводит к употреблению определенных органов и их гипертрофии и к неупотреблению, а значит и атрофии, других. У Ламарка была теория, основанная на действии гипотетических жидкостей, для объяснения последствий упражнения и неупражнения, но здесь не имеет смысла ее рассматривать. Гипертрофия или атрофия в таких случаях — хорошо установленные факты, они очевидны, как бы мы их ни объясняли.

Согласно теории Ламарка, животные эволюционируют не просто потому, что хотят этого; но если у животного есть воля и интеллект, оно может сформировать такие привычки, которые в дальнейшем вызовут изменения органов. Вы не можете, например, развить сильные мышцы, просто пожелав этого, но вы можете достичь цели, если начнете упражняться. Таким образом, ваше желание будет косвенно влиять на органы. Мало кто расходится с Ламарком в этом пункте.

Следующая часть мифа, касающаяся наследования приобретенных признаков, верно отражает позицию Ламарка. Но подобное убеждение существовало задолго до него и продержалось почти до 1900 г. плюс-минус одно или два столетия. В это верил и Чарлз Дарвин, и Кювье, и многие ученые, жившие после них. Ламарка, возможно, беспокоило, что некоторые другие части его теории могут стать объектом критики, но он никогда не ожидал, что под вопрос будет поставлено наследование приобретенных признаков.

Теория эволюции Ламарка казалась особенно привлекательной по двум причинам.

1. Предполагаемый механизм эволюции был бы намного более быстрым и эффективным, нежели дарвиновский естественный отбор. Организмам тогда не пришлось бы ждать, когда появятся случайные мутации, приводящие к улучшениям, как правило, очень незначительным, а затем уповать на результаты малоэффективного отбора, когда при благоприятном стечении обстоятельств мутанты будут размножаться чуть быстрее. “Нужды” организма сами по себе изменят геном в желаемом направлении.

2. Естественный отбор не обладает предвидением: он может лишь отбирать то, что полезно в данный момент. Но в случае правоты Ламарка это ограничение снимается, если организм обладает некоторой долей интеллекта, и в тем большей степени, чем сильнее этот интеллект.

Но были такие признаки, объяснение которых доставляло Ламарку немало трудностей. Возьмем, например, случай с покровительственной окраской. Казалось маловероятным, чтобы растения и животные могли изменять свою форму и окраску в соответствии с потребностями, следуя некоему “внутреннему чувству”. Животное даже не может увидеть себя со стороны, чтобы знать, каковы его “потребности” в этом направлении. Здесь теория явно подводила Ламарка.

Примеры вроде упомянутого выше и многие другие лучше объясняются дарвиновской теорией. Изменения происходят благодаря случайным мутациям; дальнейшее целиком зависит от их “ценности”, от того, выгодны они или не выгодны в данной ситуации. Первые сохраняются, вторые элиминируются естественным отбором.

Часто выдвигаемое возражение против теории Дарвина состоит в том, что в ней значимые события происходят благодаря случайности, а это очень маловероятно. Не следует, однако, преуменьшать такую возможность. Это могло бы показаться абсолютно невероятным, но в Красном море водится рыбка, на хвосте которой

можно прочитать “написанное” старыми арабскими буквами слово “Аллах”. Это в высшей степени значимая особенность и вплоть до настоящего времени весьма эффективная, так как из уважения к имени всевышнего местные жители не едят эту рыбку, а рыбаки выбрасывают ее обратно в море, если она попалась в их сети. Очевидно, однако, что подобная окраска появилась случайно задолго до того, как приобрела смысл, когда пророк Мухаммед (мир праху его) назвал своего бога “Аллахом”, а не другим именем.

Первичность поведения

В теории Дарвина при всей ее убедительности есть что-то эмоционально не совсем располагающее к себе. Понятно, что дарвиновская (и любая другая) теория эволюции не может встречать особой поддержки у сторонников креационизма. Интереснее другое: среди тех, что хорошо понимает и принимает аргументацию Дарвина, раздаются голоса сожаления о невозможности других объяснений. Так, Эрвин Шредингер, один из основателей квантовой механики, пишет:

“Популярные изложения теории Дарвина могут порождать довольно мрачную и пессимистическую оценку видимой пассивности организма в процессе эволюции. В геноме спонтанно происходят мутации... Индивидуум не может оказать ни малейшего влияния на богатое наследство, полученное им от родителей, и на то, что он оставляет потомкам. Теряются приобретенные навыки и результаты обучения, они не оставляют следа, не передаются...”

“Дарвиновская теория была не первой систематической теорией эволюции. Ей предшествовала теория Ламарка, которая всецело базировалась на предположении, что любые новые признаки, приобретенные индивидуумом в течение жизни, могут передаваться потомству... Эта концепция не только предлагает очень простое объяснение удивительно сложному и специфическому процессу адаптации организма к окружающей среде,... но является также красивой, возвышенной, вдохновляющей и стимулирующей... Разумное существо, считающее себя звеном длинной эволюционной цепи, может, согласно теории Ламарка, быть уверенным, что его усилия... составляют небольшую, но органичную часть общих усилий вида на пути к совершенству.”

“К сожалению, ламаркизм оказался несостоятельным. Главный принцип, лежащий в его основе, а именно наследование приобретенных признаков, неверен... И значит, мы как бы отброшены назад, к мрачной перспективе дарвинизма, которую я изобразил выше.”

“Однако я хочу показать вам, что это не совсем так... Ламарк полагал, что орган а) используется, б) тем самым улучшается, и в) это улучшение передается потомству. Это неверно. Мы должны считать, что а) органы подвержены случайным вариациям; б) полезные вариации накапливаются или по крайней мере усиливаются в процессе отбора; в) так продолжается из поколения в поколение, причем отобранные мутации закрепляются как долговечное усовершенствование вида.”

“Модификация признака, приобретенная в результате изменчивости,... может легко побудить организм... изменить свое поведение по отношению к окружающей среде. Особи, которые — случайно или по своему разумению — изменят свое поведение, получат соответствующие преимущества и будут благодаря этому сохранены отбором.”

“Но по мере развития нового органа поведение становится все более и более связано с самим фактом его существования. У вас просто не может быть умных рук, если вы не используете их для достижения своих целей, они будут вам мешать (как это часто бывает у любителя на сцене, поскольку цели у него только воображаемые). У вас не может быть крыльев, если вы не пытаетесь летать... Отбор не в силах “произвести” новый орган, если организм не помогает ему, пытаясь найти этому органу подходящее применение. Итак, две вещи идут вполне параллельно и в конечном итоге (а можно сказать, что и на каждой стадии) оказываются генетически связанными в единое целое — используемый орган, как если бы Ламарк был прав...”

“Мы сейчас развиваемся как вид и шагаем в первом ряду поколений; таким образом, каждый день жизни человека представляет собой небольшой фрагмент эволюции нашего вида, которая все еще идет полным ходом. Верно, что один день чьей-то жизни, и даже чья-то целая жизнь — это всего лишь легкий удар резца по статуе, которая никогда не будет закончена. Но весь грандиозный процесс эволюции, пройденный нами в прошлом, был осуществлен благодаря мириадам таких мельчайших ударов резца. Материалом для этой трансформации, предпосылкой для ее осуществления, несомненно, служат наследуемые спонтанные мутации. Но для того чтобы они стали материалом для отбора, огромное и решающее значение имеет поведение их носителя и его образ жизни.”

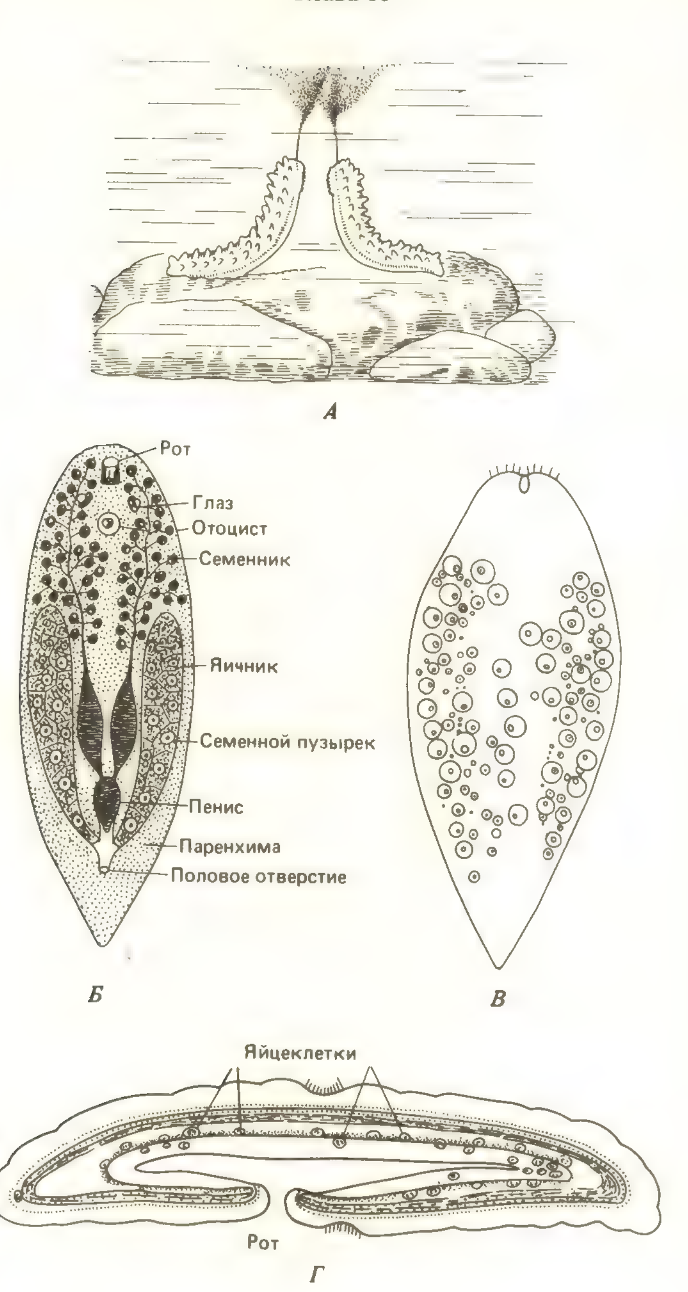
Ход рассуждений Шредингера верен; орган не будет эволюционировать путем естественного отбора, если он не используется. Но можно сформулировать этот же принцип еще сильнее: в эволюции существует явный примат поведения над структурой. Поведение чаще всего изменяется первым, а потом уже эволюционируют

структуры, чтобы облегчить и усовершенствовать это поведение. Так может быть даже у очень примитивных организмов; хорошим примером служат плоские черви.

У кишечнополостных, таких, как коралловые полипы и медузы, оплодотворение наружное: оно происходит в морской воде, куда эти организмы выбрасывают яйца и сперму через "рот". Но у нескольких более развитых свободноживущих плоских червей оплодотворение внутреннее; у них имеются выводные пути для спермы, но у примитивных форм яйца более или менее случайно разбросаны в тканях (рис. 33-1) и оплодотворяются под кожей: сперматозоиды инъецируются в ткани и блуждают там, пока не натолкнутся на готовое к оплодотворению яйцо. У более продвинутых форм яйца концентрируются в яичниках, где добавляются желток и "скорлупа", развиваются пути, выводящие яйцо наружу, но оплодотворение остается подкожным. Обычно мужские и женские органы имеются у одних и тех же особей, т. е. это гермафродиты.

Сравнительные исследования показывают, что такой половой аппарат развивался у разных групп плоских червей параллельно, и сейчас существует много промежуточных форм. Изучая ряд таких форм, можно встретить организм (*Xenoturbella*), у которого, как и у медуз, нет специализированного полового аппарата; однако яйца и сперма не выбрасываются в воду, как у медуз, а вместо этого происходит копуляция с последующим внутренним оплодотворением. С помощью "рта" *Xenoturbella* переносит сперму на поверхность тела другой особи, и сперма затем проникает внутрь, как при обычном подкожном оплодотворении. Этот пример определенно наводит на мысль, что первый шаг в развитии внутреннего оплодотворения был здесь поведенческим, а анатомические адаптации возникли позже. Конечно, такой тип поведения тоже детерминирован генотипом, но для животных с более высоким уровнем организации это не обязательно.

Иногда крысы могут заходить в воду, чтобы схватить рыбу. У крыс нет приспособлений к водному образу жизни, которые были бы закреплены в генотипе, поэтому такое поведение — инициатива их центральной нервной системы. Генотип в лучшем случае не препятствует этому. Но если бы крысам приходилось часто заходить в воду, отбор благоприятствовал бы любой мутации, облегчающей плавание и ныряние, и, конечно, при наличии таких адаптаций любая крыса была бы более склонна заходить в воду. Поведенческие, анатомические и физиологические адаптации усиливали бы друг друга, так что в итоге могли бы создаться настоящие водные формы. Так это и случилось с некоторыми предста-


A
Рот
Глаз
Отоцист
Семенник
Яичник
Семенной пузырек
Пенис
Паренхима
Половое отверстие
Б
В
Яйцеклетки
Рот
Г

вителями семейства куньих, которые превратились в выдр, другие же продолжали эволюционировать и стали тюленями. Адаптации развиваются на основе мутаций, но первоначальный импульс к их сохранению исходит из центральной нервной системы. Подобные примеры иллюстрируют то, что имел в виду Шредингер под отбором "используемого органа".

Но, как отмечает Шредингер, здесь нет никакого противоречия с теорией Дарвина. Приобретенные признаки не наследуются, т. е. информация, приобретенная одним поколением, не передается другому. Все это просто показывает, что эволюция происходит так, "как если бы Ламарк был прав". Но самом же деле он почти во всем ошибался. Так остается ли что-нибудь от его утверждений? Да, и притом нечто весьма существенное.

Концепция наследственности

В широком и первоначальном смысле слова наследственность есть все то, что передается; эта концепция не уточняет и не ограничивает механизмов передачи. Можно, например, унаследовать горшочек с золотом, знание планиметрии, умение делать каменные орудия, знание армянского языка или твердое убеждение, что Озирис восстал из мертвых. Можно также унаследовать группу крови A, мужской или женский пол, темные волосы и т. д. Это соматические признаки, передающиеся через гены. Но каковы бы ни были признаки — соматические или экзосоматические, одинаково верно говорить о передаче их по наследству.

Однако для многих биологов термин "наследование" стал синонимом соматического наследования. Поэтому, если вы спросите их, наследуется ли знание армянского языка, они почти автоматически ответят "нет". Фактически они имеют в виду не саму передачу, а ее генетический механизм. Отрицательный ответ будет совершенно правильным, если интерпретировать его следующим образом: "Армянский язык не закодирован в генной ДНК и поэтому не передается из поколения в поколение с помощью этой ДНК".

Рис. 33-1. *А.* Две голотурии одновременно выбрасывают яйца и сперму в морскую воду. Это весьма обычный способ оплодотворения у водных животных, в том числе рыб. *Б.* Плоский червь с хорошо развитой репродуктивной системой, включающей выводные пути для половых клеток. *В* и *Г.* Плоский червь *Xenoturbella*, который, подобно кишечнополостным, не имеет специальных выводных протоков и выбрасывает гаметы через рот.

Но совершенно неверно будет интерпретировать сказанное “нет” в том смысле, что знание армянского вообще не передается от одного поколения другому.

В отличие от наследования через гены экзосоматическое наследование означает передачу чего-то приобретенного. Это обусловливает очень важные различия между экзосоматической и соматической наследственностью.

А. Генетическая мутация, даже очень благоприятная, может переходить лишь от родителя к потомку и поэтому распространяется медленно. Но некоторые экзосоматические свойства могут быстро распространяться по всей популяции, безотносительно к генеалогическим линиям.

Б. Эксоматическая информация может также весьма свободно перемещаться во времени. Здесь возможна устная передача, но еще лучше письменная: все мы чем-то обязаны Эвклиду и Ньютону, независимо от того, сознаем мы это или нет. Даже палеолитический человек, найдя каменное орудие древности, мог решить скопировать его для своих нужд; в этом случае древний создатель орудия общался с тем, кто его нашел, через многие тысячелетия.

В. В отличие от соматической эволюции, для экзосоматической характерно предвидение. Если животное обладает интеллектом, его эволюция может идти к определенной цели косвенным путем через стадии, которые сами по себе не кажутся полезными. Поэтому экзосоматическая эволюция бывает намного более быстрой и эффективной, чем соматическая.

Итак, что касается нас самих, то экзосоматическая эволюция сейчас гораздо более значима, чем соматическая, и поскольку она базируется на передаче приобретенных признаков, можно сказать, что “Ламарк” одержал победу над “Дарвином”. Поэтому “мрачные перспективы эволюции”, которые так угнетали Шредингера, не должны угнетать нас, ибо мы являемся видом, способным к культурному развитию и, следовательно, можем стать тем, чем хотим стать. Но вот вопрос, кем мы хотим стать, есть уже предмет для специального разговора.

Предметный указатель

Оглавление

Научное издание

Мартинас Ичас

О природе живого: механизмы и смысл

Зав. редакцией М. Д. Гроздова
Ведущий редактор Ю. И. Лашкевич
Редактор Р. Ф. Куликова
Художественный редактор
Технический редактор О. Г. Лапко
Корректор В. И. Николаева
Оригинал-макет подготовлен И. В. Терешкиной
в пакете LaTeX с использованием кириллических шрифтов,
разработанных в редакции АИП издательства «Мир»

ИБ № 8161

Лицензия Л.Р № 010174 от 22.01.92

Подписано к печати 22.09.94. Формат 60 × 88/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 15,50 бум. л.
Усл.-печ. л. 30,31. Усл. кр.-отт. 30,31. Уч.-изд. л. 30,75.
Изд. № 4/8983. Тираж 7000 экз. Заказ 305. С131.

Издательство «Мир» Комитета Российской Федерации по печати.
129820, Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Московская типография № 11
Комитета Российской Федерации по печати.
113105, Москва, ул. Нагатинская, 1.

